

Varhaisen musiikki-intervention vaikutus
puheäänteiden käsittelyyn perinnöllisessä
lukivaikeusriskissä olevilla vauvoilla

Helsingin yliopisto
Lääketieteellinen tiedekunta
Psykologian ja logopedian osasto
Pro gradu -tutkielma
Elokuu 2017
Jaana Meriläinen
Ohjaajat: Paula Virtala ja Teija Kujala
Lukivauva-hanke

Tiedekunta – Fakultet - Faculty Lääketieteellinen tiedekunta	Laitos – Institution – Department Psykologian ja logopedian osasto
Tekijä – Författare – Author Jaana Meriläinen	
Työn nimi – Arbetets titel – Title Varhaisen musiikki-intervention vaikutus puheäänteiden käsittelyyn perinnöllisessä lukivaikeusriskissä olevilla vauvoilla	
Oppiaine – Läroämne – Subject Psykologia	
Työn ohjaaja(t) – Arbetets handledare – Supervisor Paula Virtala, Teija Kujala	Vuosi – År – Year 2017
<p>Tiivistelmä – Abstrakt – Abstract</p> <p>Kehityksellinen lukivaikeus on perinnöllinen oppimisvaikeus, jonka ensisijaisina selittävinä tekijöinä pidetään puutteita puheäänteiden käsittelyssä. Puutteita kuulotiedon käsittelyssä on havaittu lukivaikeuksien lisäksi pienillä vauvoilla, joilla on sukutaustansa vuoksi perinnöllinen riski lukivaikeuden kehittymiseen. Lukivaikeuden riskiryhmään kuuluvilla vauvoilla kuulotiedon käsittelyä heijastavat aivosähkökäyrän tapahtumasidonnaiset jännitevasteet (engl. <i>event-related potentials</i>, lyh. ERP) ovat aiemmissa tutkimuksissa olleet heikompia tai painottuneet enemmän pään pinnan oikealle puolelle kuin sellaisilla vauvoilla, joilla ei ole perinnöllistä riskiä lukivaikeuteen. Interventiotutkimuksilla on voitu osoittaa, että luku- ja kirjoitustaitojen parantuessa myös ERP-vasteet muuttuvat. Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, voiko varhainen musiikki-interventio edistää vauvojen kuulokykyä.</p> <p>Tutkittavat 58 perhetaustaltaan lukivaikeuden riskiryhmään kuuluvaa vauvaa jaettiin vastasyntyneinä kolmeen ryhmään, joista yhdelle soitettiin laulettua musiikkia, toiselle samojen kappaleiden instrumentaaliversioita ja kolmas toimi kontrolliryhmänä, jolle ei annettu mitään interventiota. Puolen vuoden interventiojakson jälkeen vauvojen kuulokykyä tutkittiin koeasetelmalla, jossa heille esitettiin ERP-mittauksen aikana toistuvaa /tata/-epäsanaa, jonka jälkimmäisessä tavussa oli satunnaisia äänen pituuden, korkeuden ja vokaalin muutoksia. ERP-vasteiden ryhmäerojen lisäksi tutkittiin niiden yhteyksiä vauvojen esikielellisen kehityksen asteeseen sekä interventiomusiikin soittomääriin.</p> <p>Ryhmien vasteet vakioäänelle erosivat toisistaan siten, että vasteiden jakauma pään pinnalla oli kontrolliryhmällä erilainen kuin interventio-ryhmillä ja toistuvan äänen piirteitä käsiteltiin nopeammin kontrolliryhmässä kuin instrumentaalimusiikkia kuunnelleessa ryhmässä. Lisäksi instrumentaalimusiikkia kuunnelleiden vauvojen vokaalimuutoksen erottamiseen liittyvät vasteet painoutuivat eri osiin pään pinnalla kuin muilla ryhmillä. Vanhempien arviot vauvansa esikielellisen kehityksen tasosta olivat yhteydessä vasteisiin siten, että toistuvan ärsykkeen synnyttämät vasteet olivat voimakkaampia ja saavuttivat huipunsa aikaisemmin vauvoilla, joiden arvioitiin olevan pidemmällä esikielellisessä kehityksessään. Tulosten mukaan herätevasteet ovat yhteydessä lapsen kielelliseen kehitykseen ja varhainen musiikki-interventio voi muuttaa puheäänteitä käsittelevää hermoverkkoa lukivaikeusriskissä olevilla vauvoilla. Jatkossa tulisi selvittää, tukevatko nämä intervention vaikutukset aivot toimintaan myöhempää kielellistä kehitystä ja toisaalta, miten vauvojen kasvuympäristön äänimaailma interventioiden ulkopuolella on voinut vaikuttaa kuulokykyjen kehitykseen.</p>	
<p>Avainsanat – Nyckelord – Keywords</p> <p>Lukivaikeus, EEG, ERP, musiikki-interventio, vauva</p>	
<p>Säilytyspaikka – Förvaringsställe – Where deposited</p> <p>Helsingin yliopiston kirjasto – Helda / E-thesis (opinnäytteet)</p> <p style="text-align: right;"><i>ethesis.helsinki.fi</i></p>	

Tiedekunta – Fakultet - Faculty Faculty of Medicine	Laitos – Institution – Department Department of Psychology and Logopedics
Tekijä – Författare – Author Jaana Meriläinen	
Työn nimi – Arbetets titel -- Title The effect of an early musical intervention on the auditory processing of speech sounds in infants with a genetic risk for dyslexia	
Oppiaine – Läroämne – Subject Psychology	
Työn ohjaaja(t) – Arbetets handledare – Supervisors Paula Virtala, Teija Kujala	Vuosi – År – Year 2017
<p>Tiivistelmä – Abstrakt – Abstract</p> <p>Developmental dyslexia is a heritable learning disorder which according to the predominant theories has its core problems in the processing of speech sounds. Auditory processing deficits have been found in dyslexics and in infants with a genetic risk for dyslexia. It has been shown that infants with a genetic risk for dyslexia have attenuated or more right-hemispheric lateralized auditory event-related potentials (ERPs) to changes in speech stimuli compared to infants with no genetic risk. It has been shown that interventions can ameliorate the reading and writing skills of dyslexics and concurrently influence their ERPs. The aim of the present study was to find out if an early musical intervention can ameliorate the auditory processing skills in infants.</p> <p>Altogether 58 infants with a genetic risk for dyslexia were assigned to three groups where one group listened to vocal music, second group listened to instrumental versions of the same music and the third one was a control group with no intervention. After six months of intervention, auditory ERPs of the infants were recorded while the infants were presented with a repetitive pseudoword /tata/ with random infrequent duration, frequency, or vowel changes in the latter syllable. It was also studied if the ERPs were correlated with the amount of music played during the intervention or with the parents' evaluations of their infant's degree of prelinguistic development.</p> <p>The groups differed from each other in the auditory processing of the repetitive standard sound so that in the control group the ERPs had a different hemispheric pattern compared to the intervention groups and the repetitive sound was processed faster in the control group than in the instrumental group. It was also found that the hemispheric pattern of the ERPs for the vowel changes was different in the instrumental intervention group compared to the other groups. The parents' evaluations of the prelinguistic development of their infant were correlated with the ERPs so that the ERPs to the repetitive standard stimuli were enhanced and reached their peak earlier in the infants who were evaluated to be more mature in their prelinguistic development. According to the results, the ERPs for the repetitive sounds are correlated with children's linguistic development and an early musical intervention can modify the neural network processing speech sounds in infants with a genetic risk for dyslexia. In the future, it should be followed if these intervention effects on brain functions also enhance the linguistic development of the children and it should be also explored how other parts of the auditory environment of the children besides the intervention have possibly affected their auditory skills.</p>	
<p>Keywords Dyslexia, EEG, event-related potentials, musical intervention, infant</p>	
<p>Where deposited Helsingin yliopiston kirjasto – Helda / E-thesis (opinnäytteet)</p>	
<i>ethesis.helsinki.fi</i>	

Sisällys

1.	JOHDANTO.....	1
1.1	Lukivaikeus ja sen neurobiologinen tausta.....	2
1.2	Lukivaikeutta kuntouttavat interventiot.....	4
1.2.1	Musiikki-interventiot lukivaikeuden kuntoutuksessa.....	5
1.3	Tapahtumasidonnaiset jännitevasteet (ERP) lukivaikeuden tutkimisessa.....	7
1.3.1	Poikkeavuusnegatiivisuusvaste (MMN) ja esitietoinen äänien erottelukyky..	9
1.3.2	Vauvojen kuulokykyjen kehitys ja poikkeavuusvaste (MMR)	10
1.3.3	Lukivaikeusriskiin liittyvät poikkeamat lasten kuulokyvyissä.....	12
1.4	Tutkimuskysymykset ja hypoteesit.....	15
2.	MENETELMÄT.....	17
2.1	Osallistujat	17
2.2	Lasten esikielellisen kommunikaation ja kielen ensikartoitus.....	18
2.3	Intervention äänimateriaali ja toteutus.....	19
2.4	Ärsykkeet ja koeasetelma	19
2.5	EEG-mittaus.....	20
2.6	EEG-aineiston esikäsittely ja analyysi.....	21
2.7	Aineiston tilastollinen käsittely.....	24
3.	TULOKSET	26
3.1	Vasteet vakioärsykkeelle	26
3.2	MMR-vasteet vokaalin keston muutokselle	28
3.2.1	Normaalin vakioärsykkeen avulla muodostettu MMR-vaste	28
3.2.2	Kontrolloidun vakioärsykkeen avulla muodostettu MMR-vaste.....	29
3.3	MMR-vasteet äänenkorkeuden muutokselle	31
3.4	MMR-vasteet vokaalin muutokselle.....	31
3.5	Vasteiden yhteydet interventiomusiikin soittomääriin	34
3.6	Vasteiden yhteydet esikielelliseen kehitykseen	34
4.	POHDINTA.....	37
4.1	Perinnölliseen lukivaikeuden riskiryhmään kuuluvien vauvojen kuulokyvyt	38
4.2	Musiikki-intervention vaikutus toistuvan äänen käsittelyyn aivoissa	39
4.3	Musiikki-intervention vaikutus kuuloerottelukykyyn	42
4.4	Laulu- ja instrumentaalimusiikki-intervention erot	45
4.5	Kuulokykyjen yhteys esikielelliseen kehitykseen	46
4.6	Tutkimuksen luotettavuus ja haasteet	47
4.7	Yhteenveto	50
	Lähteet	51

Esipuhe

Tämän pro gradu -tutkimuksen aineisto on osa laajempaa Luki- ja kielihäiriöiden hermos-tollinen perusta, biomarkkerit ja kuntoutuvuus -hanketta. Hanketta rahoittavat Suomen Aka-temia ja Jane ja Aatos Erkon säätiö. Vastaavana lääkärinä toimii LT Kaija Mikkola ja vas-taavana tutkijana prof. PsT Teija Kujala. HUS Naisten, lasten ja psykiatrian eettinen toimi-kunta on antanut tutkimushankkeelle puoltavan lausunnon (päivämäärällä 30.10.2014, HUS:in asianumero 237/13/03/03/2014). Tämän tutkimuksen vauvat ovat mukana laajassa seurantahankkeessa, johon on rekrytoitu noin 200 vuosien 2015 ja 2017 välillä syntynyttä lasta. Tämän tutkimuksen aineistoon otettiin mukaan ne lukivaikeuden riskiryhmään kuulu-vat lapset, jotka osallistuivat EEG-seurantamittaukseen 6 kuukauden iässä 25.1.2017 men-nessä.

Haluan kiittää asiantuntevasta ja kannustavasta ohjauksesta ohjaajiani Paula Virtalaa ja Teija Kujalaa. Arvokkaita neuvoja työni viimeistelyyn sain myös pro gradu -seminaarini osallistujilta ja sen ohjaajalta Kimmo Alholta. Lukivauva-hankkeen tutkimusryhmän jäsenet ovat auttaneet minua useissa tutkimukseen liittyneissä käytännön haasteissa ja erityisesti EEG-aineiston käsittelyn kiemuroissa minua ovat tukeneet PsT Eino Partanen ja laborato-rioinsinööri Tommi Makkonen sekä tohtorikoulutettava Anja Thiede.

1. JOHDANTO

Vauvat sopeutuvat ympäristönsä kielelliseen (Kuhl, 2004) ja musiikilliseen (Hannon & Trainor, 2007) sisältöön ja omaksuvat sen säännönmukaisuudet automaattisesti ilman erityistä opettamista. Äidinkielen äänne-edustukset muodostuvat 6–12 kuukauden iässä (Cheour ym., 1998), ja jo vastasyntynyt vauva kykenee erottamaan äänivirrassa esiintyviä muutoksia esimerkiksi äänenkorkeudessa (Alho, Sainio, Sajaniemi, Reinikainen & Näätänen, 1990) ja useissa puheäänteiden ominaisuuksissa (Partanen, Pakarinen, Kujala & Huotilainen, 2013).

Lukutaidon omaksuminen vaatii useiden kielellisten osataitojen hallitsemista, kuten kykyä yhdistää kirjoitettu kirjain sitä vastaavaan äänteeseen (Vellutino, Tunmer, Jaccard & Chen, 2007). Lukivaikeuteen liittyy yleensä puutteita puheäänteiden pysyvien edustusten muodostamisessa, muistissa säilyttämisessä ja mieleenpalautuksessa, ja lukivaikeuden oireiden perimmäisenä aiheuttajana onkin pidetty puheäänteiden käsittelyn vaikeuksia (katsauksia: Ramus, 2003; Vellutino, Fletcher, Snowling & Scanlon, 2004). Lukutaito on tärkeä osa niin koulumaailmassa kuin arjessakin suoriutumista, ja ongelmat lukemisessa tai kirjoittamisessa johtavat herkästi laajempiinkin oppimisen vaikeuksiin lapsen elämässä. Lukemisen vaikeuksien on havaittu vaikuttavan negatiivisesti lasten minäkuvaan ja oppimisasenteisiin (Chapman, Tunmer & Prochnow, 2000). Lukivaikeutta olisikin hyvä pyrkiä kuntouttamaan mahdollisimman varhaisessa vaiheessa, ettei lapselle alkaisi muodostua kuvaa itsestään taitamattomana lukijana ja huonosti arjen haasteista suoriutuvana yksilönä.

Lukivaikeus on voimakkaasti periytyvää (Kere, 2014), joten lukivaikeuden taustamekanismeja voidaan tutkia seuraamalla perhetaustansa vuoksi lukivaikeusriskissä olevien lasten kehitystä. Lukivaikeuteen liittyviä poikkeamia aivojen kehityksessä ja kyvyssä erotella ympäröivän äänimaailman säännönmukaisuuksia voidaan tutkia aivosähkökäyrän (elektroenkefalografia, lyh. EEG) mittauksella. Aiemman EEG-tutkimuksen perusteella tiedetään, että perinnöllisessä lukivaikeusriskissä olevilla vauvoilla on heikommat valmiudet erotella puheäänteitä kuin vauvoilla, joilla ei ole perinnöllistä lukivaikeusriskiä (esim. Leppänen ym., 2012). Aiemmassa tutkimuksessa on myös havaittu, että varhainen altistuminen musiikille edistää kuulokykyä, kuten esitietoista kykyä erottaa muutoksia äänivirrassa (Zhao & Kuhl, 2016) ja toisaalta musiikkiharjoittelu edistää lukivaikeuksisten kielellisiä kykyjä (esim. Flaugnacco ym., 2015). Tässä pro gradu -tutkimuksessa selvitetään EEG-vasteiden avulla

sitä, miten musiikki-interventio vaikuttaa lukivaikeusriskisten vauvojen aivojen kykyyn käsitellä puheäänteitä.

1.1 Lukivaikeus ja sen neurobiologinen tausta

Kehityksellinen lukivaikeus on oppimisvaikeus, jossa luku- ja kirjoitustaitojen oppiminen on heikentynyt riittävästä kognitiivisesta tasosta, opetuksesta, oppimismotivaatiosta ja aistien toimivuudesta huolimatta (Ramus, 2004). Lukivaikeuden esiintyvyyden arviot vaihtelevat välillä 3–10 % väestöstä, ja sitä esiintyy pojilla hieman yleisemmin kuin tytöillä (Rutter ym., 2004; Snowling, 2013). Lukivaikeus näyttäytyy puutteina useissa lukemisen osataidoissa, kuten lukemisen tarkkuudessa ja nopeudessa, luetunymmärtämisessä ja oikeinkirjoituksessa (Siegel, 2006). Lukivaikeus ei ole tarkkarajainen diagnoosiluokka, vaan sen vaikeusaste vaihtelee yksilöiden välillä ja se esiintyy usein yhdessä muiden kehityksellisten häiriöiden kanssa (Snowling, 2013). Lukivaikeuden ilmenemismuotojen vaihtelu yksilöiden välillä hankaloittaa lukivaikeustutkimusten tulkintaa, sillä tutkimuksiin on voinut valikoitua erilaisia osajoukkoja lukivaikeuden vaihtelevista ilmenemismuodoista.

Arviot lukivaikeuden periytyvyydestä vaihtelevat 30–70 %:n välillä, riippuen esimerkiksi käytetystä lukivaikeuden määritelmästä ja tavasta mitata periytyvyyttä sekä otoskoosta ja tutkittujen henkilöiden iästä (katsauksia: Fisher & Defries, 2002; Scerri & Schulte-Körne, 2010). Lukivaikeuteen yhdistetyt geenit viittaavat siihen, että lukivaikeus aiheutuu puutteista aivojen hermosolujen järjestäytymisessä aivojen kehityksen aikana (Darki, Matsson, Kere & Klingberg, 2012; Gabrieli, 2009; Giraud & Ramus, 2013). Lukivaikeuksisten aivoista on löydetty poikkeavuuksia niin aivojen rakenteessa, aivoalueiden välisissä yhteyksissä kuin aivojen toiminnassakin (katsaus: Ozernov-Palchik & Gaab, 2016). Lukivaikeuden taustalla vaikuttavia mekanismeja ei kuitenkaan täysin tunneta ja sen syntymekanismeista onkin esitetty useita teorioita. Lukivaikeuteen on haettu selityksiä esimerkiksi ongelmista yleisessä oppimiskyvyssä, assosiatiivisessa oppimisessa tai tarkkaavuudessa, mutta vallitsevan teorian mukaan ensisijainen ja merkittävin lukivaikeutta selittävä tekijä ovat puutteet mielessä tapahtuvassa puheäänteiden käsittelyssä (Ramus, 2003). Lukivaikeuteen onkin havaittu liittyvän puutteita puheäänteiden varhaisessa käsittelyssä kuuloaivokuorella (esim. Bruder ym., 2011; Renvall & Hari, 2002; Schulte-Körne, Deimel, Bartling & Remschmidt, 1998).

Poikkeavan puheäänteiden käsittelykyvyn lisäksi lukivaikeuteen on yhdistetty laaja joukko erilaisia puutteita näkö-, kuulo-, tunto- ja tasapainoain toiminnassa sekä motoriikassa (Ramus, 2003). Magneettikuvantamismenetelmiä hyödyntävissä tutkimuksissa on havaittu, että lukivaikeuksilla lukutehtävän aikana mitattu aktivaatio on normaalisti lukevia vähäisempää aivojen vasemman puoliskon pälaenlohkon, ohimolohkon sekä takaraivolohkon alueella (esim. Gabrieli, 2009; Pugh ym., 2000; Salmelin ym., 1996). Lukivaikeuksien on myös havaittu suoriutuvan näönvaraisen tarkkaavuuden tehtävistä heikommin kuin tarkkaavuus- ja ylivilkkaushäiriöisten (engl. *Attention Deficit and Hyperactivity Disorder*, lyh. ADHD) ryhmä ja terve kontrolliryhmä (Laasonen ym., 2012). Lukivaikeuteen onkin yhdistetty lieviä puutteita erityisesti näkökentän vasemman puolen tarkkaavuudessa (Hari, Renvall & Tanskanen, 2001). Syy-seuraussuhteen toteamiseksi näönvaraisten puutteiden ja kehittyvän lukivaikeuden välille tulisi kuitenkin kyetä osoittamaan, että näönvaraisen tiedonkäsittelyn puutteita ilmenee lukivaikeuksilla jo ennen lukemisen vaikeuksien kehittymistä.

Kuulokykyjen osalta lukivaikeuteen on yhdistetty heikkoutta erityisesti kuulotiedon esittetoisessa käsittelyssä (katsauksia: Bishop, 2007; Hämäläinen, Salminen & Leppänen, 2013; Kujala, 2007). Puheäänteiden ohella lukivaikeuksien on havaittu erottavan normaalisti lukevia heikommin myös ei-kielellisissä äänissä esiintyviä muutoksia, kuten äänenkorkeuden satunnaista vaihtelua (esim. Baldeweg, Richardson, Watkins, Foale & Gruzelier, 1999; Kujala, Belitz, Tervaniemi & Näätänen, 2003; Renvall & Hari, 2003). Lukivaikeuteen liittyvien aistitiedon käsittelyn puutteiden on selitetty aiheutuvan häiriöistä nopean näkö- ja kuulotiedon käsittelyyn erikoistuneen aivojen magnosolujärjestelmän kehityksessä (esim. Gaab, Gabrieli, Deutsch, Tallal & Temple, 2007; Galaburda, 1999; Hari ym., 2001). Toisaalta lukivaikeuksien aivojen on havaittu käsittelevän normaalisti lukevien aivoja heikommin myös suhteellisen hitaasti tapahtuvia äänenkorkeuden muutoksia (Baldeweg ym., 1999). On ehdotettu, että koska kaikilla lukivaikeuksilla ei esiinny puutteita laaja-alaisesti näkö- ja kuulotiedon prosessoinnissa tai motorisessa toiminnassa, nämä oireet voisivat olla erillisiä varsinaisesta lukivaikeudesta ja esiintyä satunnaisesti samanaikaisesti sen kanssa (Ramus, 2004). Ainakaan toistaiseksi ei ole kuitenkaan pystytty määrittelemään selviä kriteereitä erillisille lukivaikeuden alatyypeille.

Lukivaikeus voidaan diagnosoida yleensä vasta siinä vaiheessa, kun lapsi ei ole oppinut odotetusti lukemaan koulussa, mutta siihen voi liittyä jo varhaisemmassa vaiheessa poikkeavaa

kehitystä kielellisissä kyvyissä, kuten puheentuotossa (Lyytinen, Poikkeus, Laakso, Eklund & Lyytinen, 2001). Useita varhaisia kielellisiä kykyjä verranneessa seurantalutkimuksessa tulevaa lukivaikeutta ennustivat parhaiten 3.5 vuoden iästä eteenpäin lapsen perinnöllinen lukivaikeusriski sekä heikkoudet nopeassa nimeämisessä, äännetietoisuudessa ja kirjainten tunnistamisessa (Puolakanaho ym., 2007). Puolivuotioiden perinnölliseen lukivaikeuden riskiryhmään kuuluvien vauvojen havaittiin eräässä tutkimuksessa tarvitsevan kontrolliryhmään verrattuna pidempikestoisen konsonantin epäsanankeskelle erottaakseen sen epäsanasta, jossa on lyhyempi konsonantti (Richardson, Leppänen, Leiwo & Lyytinen, 2003). Tutkimus perustui koeasetelmaan, jossa vauva oppii automaattisesti kääntämään katseensa kohti mielenkiintoista, liikkuvaa hahmoa kuullessaan muutoksen esitetyissä puheäänteissä. Tutkimuksessa havaittiin myös, että lukivaikeuden riskiryhmään kuuluvat vauvat käänsivät päätään koeasetelmassa kokonaisuudessaan kontrolliryhmää harvemmin, minkä pääteltiin johtuvan siitä, että lukivaikeusriskiset vauvat olivat vähemmän kiinnostuneita kielellisistä ärsykkeistä.

Pienten lasten tehtäväsuoriutumisen arviointi on kuitenkin haastavaa, sillä lapsi ei välttämättä ymmärrä hänelle annettuja ohjeita ja rajoitteet esimerkiksi tarkkaavuudessa tai motorisissa voivat vaikuttaa lapsen suoriutumiseen. Myös motivaation tai vireystilan kaltaiset tilannetekijät voivat vaikuttaa huomattavasti vauvan suoriutumiseen toimintaan perustuvissa koeasetelmissa. Tulevan lukivaikeuden ennusmerkkejä on tutkittu myös tilannetekijöille vähemmän herkkien tapahtumasidonnaisten jännitevasteiden (engl. *event-related potentials*, lyh. ERP) avulla, joita esitellään luvussa 1.3. Koska kehittyvään lukivaikeuteen viittaavia ennusmerkkejä on nähtävissä jo pienillä vauvoilla, on mahdollista kehittää lukivaikeutta kuntouttavia interventioita, joita voidaan toteuttaa varhaisessa vaiheessa lapsen elämää. Jos lukivaikeuden kuntoutusprosessi saadaan alulle jo varhaislapsuudessa, voidaan myös vähentää lapsen koulumaailmassa kohtaamia epäonnistumisen kokemuksia lukutaitoja harjoiteltaessa ja heikon lukutaidon kasaantuvia seurauksia lapsen myöhemmissä opinnoissa.

1.2 Lukivaikeutta kuntouttavat interventiot

Vaikka lukivaikeuden riskitekijöitä voidaan tunnistaa jo varhain syntymän jälkeen, lukivaikeutta kuntouttavia interventioita on tutkittu yleensä esikoulu- ja kouluikäisillä lapsilla. Eri-tyyppiset interventiot ovat keskittyneet esimerkiksi näkö- ja kuulotietoa yhdistävään harjoit-

teluun (Kujala ym., 2001), näkö- ja kuuloharjoittelun sekä äänteellisten harjoitusten yhdistelmiin (Santos, Joly-Pottuz, Moreno, Habib & Besson, 2007) sekä ei-kielellisten äänien nopeiden muutosten erottelun harjoitteluun (Gaab ym., 2007). Suomessa lukivaikeuden kuntouttamista on tutkittu ja varsin laajasti toteutettu lukemisen eri osataitoja harjoittavilla Ekapeli-sarjaan kuuluvilla oppimisleluilla, joiden eri versioissa harjoitellaan kirjain-äännevastaavuutta sekä tavujen, sanojen ja tekstien sujuvaa lukemista (katsaus: Richardson & Lyytinen, 2014).

Tutkimuksessa, jossa esikouluikäiset lapset pelasivat Ekapelin kirjain-äännevastaavuutta harjoittavaa versiota yhteensä kolme tuntia kolmen viikon aikana, havaittiin heidän lukemiseen liittyvien kielellisten taitojensa paranevan yhdessä EEG:llä pään pinnalta mitatun äänen erottelutarkkuuden kanssa (Lovio, Halttunen, Lyytinen, Näätänen & Kujala, 2012). Samansuuntaisia vaikutuksia on saavutettu myös ei-kielellisellä interventiolla, jossa lukivaikeuksiset 7-vuotiaat lapset harjoittelivat voimakkuudeltaan, kestoltaan ja korkeudeltaan vaihtelevien äänisarjojen yhdistämistä niitä vastaaviin kuvasarjoihin (Kujala ym., 2001). Vaikuttaakin siltä, että kuntouttamalla oletetusti lukivaikeuden taustalla vaikuttavaa kuulo- ja näkö tiedon yhdistämistä voidaan edistää myös varsinaisia lukutaitoja. Mielenkiintoisia ja monipuolisia menetelmiä kuulokykyjen kuntoutukseen tarjoavat myös erilaiset musiikkiharjoitteluun pohjautuvat interventiot.

1.2.1 Musiikki-interventiot lukivaikeuden kuntoutuksessa

Musiikkiharjoittelulla on havaittu positiivisia vaikutuksia kuuloaivokuoren kehitykseen (esim. Shahin, Roberts & Trainor, 2004), joten se saattaisi edistää myös kielellistä oppimista musiikillisten ja kielellisten taitojen jakamien yhteisten aivoalueiden kautta. Musiikki ja puhe jakavat keskenään useita akustisia piirteitä sekä niiden käsittelyyn vaadittavia kognitiivisia toimintoja, kuten muistia ja tarkkaavuutta (katsaus: Kraus & Chandrasekaran, 2010). Esimerkiksi rytmin ja äänenkorkeuden havaitseminen on tärkeää sekä puheen että musiikin kannalta, sillä niihin molempiin liittyy ajallista jaksottaisuutta, jossa voimakkaat ja heikot painotukset vaihtelevat (Huss, Verney, Fosker, Mead & Goswami, 2011). Musiikin kielitaitoja parantavaa vaikutusta on selitetty muun muassa sillä, että musiikki on emotionaalista ja vetää tarkkaavuutta puoleensa ja toisaalta musiikki korostaa puhutun kielen kannalta merkittäviä äänirakenteita toiston, rytmin ja riittelyn kaltaisten ilmiöiden avulla (katsaus: Patel, 2014).

Lukivaikeutta on pyritty kuntouttamaan kouluikäisillä lapsilla erityisten musiikkiharjoitusten avulla (katsaus: Rolka & Silverman, 2015). Interventioissa musiikkiharjoittelua on yhdistetty esimerkiksi leikkeihin (Overy, 2003) ja erilaisiin kehollisiin harjoituksiin (Habib ym., 2016), ja niiden jälkeen lasten on havaittu suoriutuvan lähtötasoa paremmin kielellisissä sekä ei-kielellisissä tehtävissä, joskaan näissä tutkimuksissa interventioihin osallistuneiden tutkittavien suoriutumista ei verrattu kontrolliryhmään. Musikaaliseen harjoitteluun tai kuvataiteellisiin harjoituksiin satunnaistetuista lukivaikeuksisten ryhmistä ainoastaan musiikki-interventioon osallistuneiden suoriutuminen parani lukivaikeuteen liittyvissä puutteellisissa kielellisissä taidoissa, kuten lukunopeudessa ja lukemisen tarkkuudessa sekä epäsanojen lukemisessa, mutta ei esimerkiksi matemaattisissa tehtävissä (Flaugnacco ym., 2015). Seitsemän kuukautta kestänyt musikaalinen harjoittelu pienryhmissä keskittyi rytmiin ja musiikin ajallisiin ominaisuuksiin, ja siinä yhdisteltiin monipuolisesti esimerkiksi erilaisten lyömäsoittimien soittamista ja musiikkiliikuntaa. Monipuolisesti erilaisiin taitoihin kohdistuvan intervention yhteydessä on kuitenkin vaikeaa erottaa, mitkä intervention vaikutuksista aiheutuivat musiikkiharjoittelusta, ja mitkä esimerkiksi kielellisistä tai motorisista harjoituksista tai näiden yhdistelmistä.

Lukivaikeuksisille suunnattujen musiikki-interventioiden yhteydessä ei ole tiedettävästi tutkittu intervention vaikutuksia kuulokykyihin, mutta normaalisti lukevien lasten tutkimuksista saadaan viitteitä siitä, miten musiikki-interventio vaikuttaa kuulokykyihin. Morenon ja kollegoiden (2009) tutkimuksessa 8-vuotiaat lapset osallistuivat musiikki- tai maalausharjoitteluun kuuden kuukauden ajan. Interventiojakson jälkeisissä EEG-mittauksissa havaittiin, että musiikki-interventioon osallistuneet lapset erottivat maalausharjoitteluun osallistunut ryhmä tehokkaammin sekä musiikkisäkeiden että puhuttujen lauseiden lopussa esiintyneet pienet muutokset äänenkorkeudessa. Tässä ryhmässä myös lukutaito parani erityisesti tapauksissa, joissa äänne-kirjainyhteys oli monimutkainen. Vastaavanlaisia tuloksia musiikkiharjoittelun edistävästä vaikutuksesta äänteiden erottelukykyyn on havaittu myös tehtävissä, joissa puheäänteet poikkeavat vokaalin keston tai äänen alkamisajan suhteen (Chobert, François, Velay & Besson, 2014; Chobert, Marie, François & Schön, 2011).

Lukivaikeuden kuntouttamiseen tähtäävät interventiot on yleensä suunnattu kouluikäisille lapsille, joilla lukivaikeus on jo todettu. Koska lukivaikeus on synnynnäinen ja perinnöllinen

oppimisvaikeus, olisi järkevää kohdentaa lukivaikeutta kuntouttavat interventiot varhaislapsuuteen, jolloin kielelliset taidot ovat vasta kehittymässä. Yhdeksän kuukauden ikäisille vauvoille toteutetussa musiikki-interventiossa on havaittu monipuoliseen musiikkiharjoitteluun osallistuneiden vauvojen erottavan muutoksia puheäänteiden ja musiikin rytmissä paremmin kuin kontrolliryhmä, joka osallistui vastaavanlaiseseen sosiaaliseen interventioon ilman musiikkia (Zhao & Kuhl, 2016). Musiikkiharjoittelun vaikutus näyttää siis yleistyvän kielellisiin taitoihin myös pienillä vauvoilla.

Laulussa sanojen äännerakenne korostuu, kun sanat esitetään hitaammin, toistuvammin ja ennustettavammin kuin puheessa, ja laulussa sanoista muodostuu usein myös riimejä (Patel, 2014). Lisäksi vauvat suosivat äitinsä laulua vielä enemmän kuin tämän puhetta (Nakata & Trehub, 2004), joten vauvojen voi olettaa omaksuvan äidinkielensä puheäänteet helpommin laulun kuin puheen kautta, sillä he kiinnittävät lauluun enemmän huomiota. Vauvoille suunnattu puhe on usein nuotiltaan ja rytmitykseltään korostettua, laulunkaltaista (Kuhl, 2004), joten ennen puhumaan oppimista musiikki ja puhe ovat luultavasti lapsen kokemusmaailmassa vähemmän eriytyneitä kuin aikuisten kokemuksissa. Tämä on nähtävissä myös hermostollisella tasolla, sillä vauvoilla on havaittu molempien aivopuoliskojen aktivoituvan samaan tapaan niin puhetta kuin musiikkiakin kuunneltaessa (Kotilahti ym., 2010). Lauletuksessa musiikissa kieli ja musiikki yhdistyvät konkreettisella tasolla, mutta tietävästi ainakaan lukivaikeuden riskiryhmään kuuluvilla vauvoilla ei ole toistaiseksi tutkittu, miten lauluun tai laulettuun musiikkiin pohjautuva interventio vaikuttaisi puheäänteiden käsittelyyn. Musiikki-interventioiden vaikutusta kehittyviin kuulokykyihin voidaan seurata jo vauvaiästä lähtien tapahtumasidonnaisten jännitevasteiden avulla.

1.3 Tapahtumasidonnaiset jännitevasteet (ERP) lukivaikeuden tutkimisessa

Aivosähkökäyrässä esiintyvät tapahtumasidonnaiset jännitevasteet (lyh. ERP-vasteet) heijastavat aivojen hermosolujoukkojen toimintaa ja voivat myös ilmentää aivojen kehitystettä (esim. Kushnerenko, van den Bergh & Winkler, 2013). Menetelmä soveltuu erityisen hyvin pienten lasten kuulokykyjen tutkimiseen, sillä heidän on haastavaa ymmärtää verbaa-lisia ohjeita tai toimia ohjeiden mukaan. Tutkittaessa kuulotiedonkäsittelyn varhaisia vaiheita lapsen ei tarvitse suorittaa mitään erityistä tehtävää, sillä esitietoiset kuulovasteet saadaan esiin huolimatta siitä, onko tutkittavia pyydetty tarkkailemaan ääniä vai ei (esim.

Näätänen, Gaillard & Mäntysalo, 1978). ERP-tutkimuksen avulla voidaan myös seurata lasten kuulokykyjen kehitystä, sillä mittauksissa voidaan käyttää samaa koeasetelmaa eri ikävaiheissa.

Kuulokykyjen tutkimuksessa vertaillaan usein erilaisten ääniärsykkeiden aivoissa synnyttämiä vasteita toisiinsa. ERP-vasteet muodostetaan katkaisemalla aivosähkökäyrästä tarvittavan mittainen jakso, esimerkiksi 600 ms kunkin esitetyn ärsykkeen jälkeen ja muodostamalla erityyppisille ääniärsykkeille syntyneet EEG-jaksot omiksi keskiarvoikseen. Näin saadaan esille aivojen aktivaatio, joka syntyy reaktiona esitettyyn ääniärsykkeeseen ja ääniärsykkeiden suhteen satunnainen vaihtelu jää painoarvoltaan vähäisemmäksi, kun summattavia jaksosia on riittävän suuri määrä (ks. Näätänen & Winkler, 1999). Ääniärsyke synnyttää aivoissa jännitevasteen, joka muodostuu toisiaan seuraavista positiivisista ja negatiivisista jännitteen poikkeamista. Vasteet nimetään pääasiassa kirjain-numeroyhdistelmällä, jossa kirjain viittaa vasteen napaisuuteen (P positiiviseen ja N negatiiviseen) ja sitä seuraava numero ilmaisee, monesko huippu äänen esittämisen jälkeen on kyseessä tai kuinka pitkän ajan kuluttua äänen esittämisestä se esiintyy (Luck, 2014).

Toistuvat, erilliset ääniärsykkeet synnyttävät tyypillisesti aikuisilla ERP-vasteen, jonka ensimmäiset selvästi erottuvat huiput ovat nimeltään N1 ja P2 (Luck, 2014). Negatiivinen N1 havaitaan noin 100 ms ääniärsykkeen alkamisen jälkeen ja positiivinen P2-vaste puolestaan havaitaan noin 180 – 200 ms:n kuluttua ääniärsykkeen alkamisesta (Näätänen, 1992). Aikuisilla erillisten ääniärsykkeiden yhteydessä tyypillinen ERP-vaste muodostuu P1-N1-P2-N2-rakenteesta, mutta pienillä lapsilla vasteen rakenne on epämääräisempi ja kehittyy iän myötä (Ponton, Eggermont, Kwong, & Don, 2000). Vauvoilla ensimmäisen elinvuoden aikana toistuvien, erillisten ääniärsykkeiden synnyttämässä ERP-vasteessa on tyypillisesti erotettavissa ainakin kaksi huippua: voimakas positiivinen huippu (P1) ja sitä seuraava voimakas negatiivinen huippu (N2; Čeponienė, Rinne, & Näätänen, 2002; Kushnerenko ym., 2002a).

Pienten lasten P1- ja N2-vasteiden on havaittu voimistuvan ja aikaistuvan iän myötä (esim. Čeponienė ym., 2002; Choudhury & Benasich, 2010). Eräässä tutkimuksessa N2-vasteen (tuossa tutkimuksessa sitä kutsuttiin nimellä N450) havaittiin varhaistuvan noin neljän millisekunnin kuukausivauhtia (Kushnerenko ym., 2002b). Näiden kahden varhaisen vasteen on päätelty heijastavan äänen esitietoista vastaanottoa (P1) ja piirteiden käsittelyä (N2; esim.

Čeponiene, Torki, Alku, Koyama & Townsend, 2008), mutta ei ole yksiselitteisen selvää, heijastaako esimerkiksi vauvojen N2-vaste samantapaista kuulotiedon käsittelyä kuin aikuisten N1- tai N2-vasteet. Joissakin tutkimuksissa myös vauvojen vasteissa toistuvalla ääniärsykkeelle on havaittu useampia suuria huippuja P1- ja N2-vasteiden lisäksi (esim. Kushnerenko ym., 2002a). Esitetystä äänivirrasta poikkeava harvinainen ääni synnyttää muutoksen erottamiseen liittyvän vasteen, jota esitellään seuraavaksi.

1.3.1 Poikkeavuusnegatiivisuusvaste (MMN) ja esitietoinen äänien erottelukyky

Kuuloaistin erottelukykä on tutkittu erityisesti poikkeavuusnegatiivisuuden (engl. *mismatch negativity*, lyh. MMN) avulla. MMN on napaisuudeltaan negatiivinen ERP-vaste, joka ajoittuu yleensä 100–250 ms äänivirrassa tapahtuneen muutoksen jälkeen ja esiintyy huolimatta siitä, onko tutkittavaa ohjeistettu tarkkailemaan ääniärsykeitä vai ei (katsaus: Näätänen, Paavilainen, Rinne & Alho, 2007). MMN-vasteen löysivät ensimmäisenä Näätänen, Gaillard ja Mäntysalo (1978) niin sanotussa oddball-koeasetelmassa, jossa koehenkilölle esitetään usein esiintyvien vakioärsykkeiden joukossa satunnaisesti ja selvästi harvemmin esiintyviä poikkeavia ärsykeitä. MMN saadaan esille, kun vähennetään poikkeaville ääniärsykkeille mitatuista ERP-vasteista vasteet toistuvalla vakioärsykkeelle. Oddball-koeasetelmaa on käytetty paljon myöhemmissäkin MMN-tutkimuksissa ja vastaavanlainen MMN-vaste on havaittu myös erilaisissa monimutkaisemmissa koeasetelmissa, kuten useita keskenään erityyppisiä poikkeamia hyödyntävissä monipiirrekoeasetelmissa (Näätänen, Pakarinen, Rinne & Takegata, 2004).

MMN-vasteen on päätelty heijastavan esitietoista äänten vertailuprosessia, jossa välittömästi äänen esittämisen jälkeen erotetaan, että uusi ääni poikkeaa edeltävästä äänivirrasta (Näätänen, Jacobsen & Winkler, 2005). Tämän muistijälkiteoriaksi kutsutun mallin mukaan MMN heijastaa prosessia, jossa uutta ääntä verrataan aiemmin kuullun perusteella muodostuneeseen muistijälkeen ja erotetaan muutos suhteessa siihen. Vaihtoehtoisena selityksenä on esitetty, että MMN ei heijastaisi korkeamman tason tiedonkäsittelyä vaan reaktiota, jossa kuuloaivokuorella aktivoituu uusia hermosoluja, kun kuullaan aiemmista äänistä poikkeava, uudenlainen ääni (May & Tiitinen, 2010). MMN-vaste esiintyy kuitenkin myös reaktiona poikkeamiin, joissa toistuvasti esiintyvän äänen paikalla on hiljainen tauko (esim. Yabe, Tervaniemi, Reinikainen & Näätänen, 1997) sekä tilanteisiin, joissa poikkeama on muutos

äänien noudattamassa abstraktissa säännössä (esim. Paavilainen, 2013). Pitkän tutkimustradition valossa tiedetään, että MMN-vaste syntyy aivoissa automaattisesti, kun muutos äänimaailmassa ei vastaa aiempien kokemusten pohjalta muodostettua ennustetta tulevista äänistä (Näätänen, Kujala & Winkler, 2011). Tämän laajennetun muistijälkiteorian mukaan MMN heijastaa aiemmin syntyneen mallin mukautumista äänivirran uusiin piirteisiin.

MMN-vaste syntyy aivoissa molempien aivopuoliskoiden kuuloaivokuorella ja otsalohkoissa (esim. Scherg, Vajsa & Picton, 1989). MMN-vaste syntyy seurauksena muutokselle esimerkiksi yksittäisten äänten erilaisissa fysikaalisissa ominaisuuksissa, kuten voimakkuudessa, taajuudessa tai kestossa sekä muun muassa muutoksille puheäänteissä ja soinnuissa (Näätänen ym., 2007). MMN-vasteissa on havaittu viitteitä aivopuoliskojen eroavaisuuksista siten, että musiikilliset sointumuutokset aiheuttavat oikealla puolella päänpintaa suuremman MMN-vasteen kuin puheäänteiden muutokset, kun taas vasemmalla puolella muutokset soinnuissa ja puheäänteissä aiheuttavat keskenään yhtä suuren MMN-vasteen (Tervaniemi ym., 1999). Tutkittavien kyky erottaa heille annetussa tehtävässä poikkeama äänivirrassa tietyn piirteen suhteen on yhteydessä MMN-vasteen esiintymiseen kyseisille muutoksille (katsaus: Näätänen & Winkler, 1999), joten vasteen voi päätellä heijastavan erottelutarkkuutta. Muun muassa kielen oppiminen näkyy MMN-vasteen voimistumisena (Winkler ym., 1999), ja MMN-vasteiden avulla onkin saatu tietoa kielellisten kuulokykyjen kehityksestä (esim. Cheour ym., 1998). Puheäänteiden erotteluun tarvittavia kuulokykyjä on tutkittu ERP-tutkimuksen avulla myös pienillä lapsilla ja vauvoilla.

1.3.2 Vauvojen kuulokykyjen kehitys ja poikkeavuusvaste (MMR)

Aikuisten MMN-vasteen kaltainen vaste (engl. *mismatch response*, lyh. MMR) on havaittu myös pienten vauvojen ja vastasyntyneiden kuulonvaraisissa ERP-mittauksissa (esim. Alho ym., 1990; Cheour ym., 1998; katsaus Kushnerenko, van den Bergh & Winkler, 2013). Vauvojen MMR ja aikuisten MMN eroavat toisistaan siten, että vauvan MMR on aaltomuodoltaan laajempi (Cheour, Leppänen & Kraus, 2000). Verrattaessa vauvojen ja aikuisten vasteita samalla koeasetelmalla vauvojen MMR-vaste levittäytyi laajemmalle päänpinnan alueelle kuin aikuisilla, mutta toisaalta vauvoilla MMR-vastetta ei havaittu päälakilohkon alueella kuten aikuisilla (Pang ym., 1998). MMR voidaan havaita vastasyntyneillä myös nukkuessa (esim. Leppänen, Eklund & Lyytinen, 1997). MMR-vaste vaihtelee vauvoilla huo-

mattavasti ajoitukseltaan, voimakkuudeltaan ja napaisuudeltaan yksilöiden välillä ja samojen yksilöiden vasteissa ensimmäisen elinvuoden kuluessa (Kushnerenko, Ceponienė, Balan, Fellman & Näätänen, 2002). Lisäksi eri tutkimuksissa vauvojen MMR-vasteiden keskiarvot ovat poikenneet toisistaan, mikä voi selittyä muun muassa erilaisten koeasetelmien välisillä eroilla.

Eräässä seurantatutkimuksessa samanlaisena toistuvan äänisarjan keskellä satunnaisesti esiintyvän hiljaisen tauon yhteydessä havaittiin kahden ja neljän kuukauden ikäisten vauvojen mittauksissa hidas, positiivinen MMR-vaste (Trainor ym., 2003). Kun sama koeasetelma toteutettiin kuuden kuukauden ikäisillä vauvoilla, syntyi vastaavassa tilanteessa lyhyempi, napaisuudeltaan negatiivinen MMR-vaste noin 200 ms muutoksen alusta (Trainor, Samuel, Desjardins & Sonnadara, 2001). Jing ja Benasich (2006) seurasivat vauvojen MMR-vasteiden kehitystä kuukausittain kolmen kuukauden iästä kahden vuoden ikään koeasetelmassa, jossa äänen taajuus muuttui satunnaisesti. Seurantatutkimuksessa havaittiin kuuden kuukauden iästä eteenpäin jokaisessa mittauksessa negatiivinen MMR-vaste, joka oli suurimmillaan yhdeksän kuukauden iässä ja alkoi sen jälkeen pienetä iän myötä. Tutkimuksessa, jossa verrattiin MMR-vasteiden ajoitusta eri ikävaiheissa kolmen kuukauden iästä 44 kuukauden ikään saakka, havaittiin MMR-vasteen huippukohdan aikaistuvan kehityksen myötä noin yhden millisekunnin kuukausivauhtia (Morr, Shafer, Kreuzer, & Kurtzberg, 2002).

Vauvoilla on havaittu MMR-vaste muun muassa koeasetelmissa, joissa esiintyy satunnaisia muutoksia siniäänissä (esim. Alho ym., 1990) tai puheäänteissä, kuten epäsanoissa (esim. Leppänen ym., 2002), tavuissa (esim. Pang ym., 1998) tai yksittäisissä äänteissä (esim. Cheour ym., 1998). Carral ja kollegat (2005) havaitsivat vastasyntyneillä MMR-vasteen abstraktia sääntöä noudattavalle muutokselle, jossa äänenkorkeudeltaan nousevien ääniparien joukossa esitettiin satunnaisesti laskeva äänipari. Ääniparit vaihtelivat seitsemällä eri taajuudella, joten vaste ei voinut syntyä uusien hermosolujen aktivoitumisen seurauksena, sillä poikkeava äänipari ei poikennut vakioäänipareista fyysisiltä ominaisuuksiltaan vaan ainoastaan ääniparien noudattaman säännön suhteen. Lisäksi vastasyntyneillä havaittiin samanlainen MMR-vaste äänentaajuuden muutokselle perinteisessä oddball-koeasetelmassa sekä kontrollitilanteessa, jossa saman poikkeavan ääniärsyksen aiheuttamaa vastetta verrattiin neljän vaihtoehtoisen vakioärsyksen synnyttämiin vasteisiin (Háden, Németh, Török

& Winkler, 2016). Näistä tuloksista voi päätellä, että vauvojen MMR-vaste heijastaa samankaltaista äänivirran muutosten tunnistamisprosessia kuin aikuisilla eikä ole seurausta pelkästään uusien hermosolujen aktivoitumisesta kuuloaivokuorella.

1.3.3 Lukivaikeusriskiin liittyvät poikkeamat lasten kuulokyvyissä

Tutkimalla perinnölliseen lukivaikeusriskiin liittyviä poikkeamia lasten ja pienten vauvojen kuulokyvyissä saadaan viitteitä siitä, minkälaiset puutteet kuulokyvyissä voivat ennustaa tulevaa lukivaikeutta. Näin pyritään myös selvittämään tarkemmin, minkälaisia hermostollisia poikkeavuuksia lukivaikeuden taustalla mahdollisesti vaikuttaa. Tutkimuksissa perinnöllinen lukivaikeusriski on useimmiten määritelty niin, että ainakin toisella lapsen vanhemmista on todettu lukivaikeus ja lisäksi lähisuvussa on ainakin yksi todettu lukivaikeustapaus tämän lisäksi.

Eräässä tutkimuksessa kuusivuotiailla, joilla oli perhetaustansa johdosta kohonnut riski lukivaikeuteen sekä heikkoutta lukemiseen liittyvissä tehtävissä, havaittiin riskitöntä kontrolliryhmää heikkommat P1-vasteet kaikille koeasetelmassa käytetyille puheäänteille sekä heikkommat MMN-vasteet ääniärsykkeinä käytettyjen tavujen keston, voimakkuuden sekä tavuun sisältyvän vokaalin muutoksille, mutta ei muutokselle äänenkorkeudessa (Lovio ym., 2010). Toisessa tutkimuksessa samanikäisillä lapsilla, joiden perheessä oli ainakin yksi todettu lukivaikeustapaus, havaittiin heikkommat MMN-vasteet muutoksille nopeasti esitettyjen siniäänten äänenkorkeudessa kuin kontrolliryhmäläisillä, joiden perheissä ei ollut todettuja lukivaikeustapauksia (Maurer, Bucher, Brem & Brandeis, 2003). Lovion ja kollegoiden (2010) tutkimuksissa erot ryhmien välillä näkyivät ERP-vasteissa sekä oikealla että vasemmalla puolella. Maurerin ja kumppaneiden (2003) tutkimuksessa lukivaikeuden riskiryhmään kuuluvilla puheäänteiden käsittely puolestaan jakautui tasaisesti pään pinnan vasemman ja oikean puolen välillä, kun taas kontrolliryhmällä vasteet olivat voimakkaampia vasemmalla puolella.

Lukivaikeusriskisillä vauvoilla kuulokykyjen on havaittu poikkeavan riskittömien kontrolliryhmien kuulokyvyistä pian syntymän jälkeen (Guttorm, Leppanen, Hämäläinen, Eklund & Lyytinen, 2010; Leppänen, Pihko, Eklund & Lyytinen, 1999; Molfese, 2000; van Leeuwen ym., 2006), kuuden kuukauden iässä (Leppänen ym., 2002; Pihko ym., 1999) ja 17

kuukauden iässä (van Herten ym., 2008). Aiemmissa tutkimuksissa on osoitettu, että lukivaikeuden ja sen kanssa usein yhdessä esiintyvän kielellisen erityisvaikeuden riskiryhmiin kuuluvilla lapsilla P1- tai N2-vaste on pienempi tai myöhäisempi, tai painottuu eri osiin pään pinnalla kuin lapsilla, joilla ei ole perinnöllistä riskiä kielellisen kehityksen häiriöön (Benasich ym., 2006; Cantiani ym., 2016; Choudhury & Benasich, 2010; van Herten ym., 2008).

Perhetaustansa johdosta lukivaikeuden riskiryhmään kuuluvilla vauvoilla on havaittu riskittömän kontrolliryhmän vauvoja heikommat MMR-vasteet muutokselle epäsanon keskellä olevan konsonantin (Leppänen ym., 2002) tai yksittäisen tavun vokaalin (Pihko ym., 1999) pituudessa. Kahden kuukauden ikäisillä vauvoilla, joiden vanhemmalla oli todettu lukivaikeus, ei esiintynyt merkitsevää MMR-vastetta yksittäisen tavun ensimmäisen konsonantin vaihdokselle, kun taas vauvoilla, joiden perheessä ei ollut todettuja lukivaikeustapauksia, havaittiin vastaavassa tilanteessa merkitsevä MMR-vaste (van Leeuwen ym., 2006). Lisäksi eräässä tutkimuksessa havaittiin, että MMR-vaste konsonantin muutokselle näyttäytyi vasteen varhaisessa positiivisessa vaiheessa heikompana ja myöhemmässä negatiivisessa vaiheessa voimakkaampana vauvoilla, joilla oli lähisuvussa todettuja lukivaikeustapauksia kuin kontrolliryhmällä, joiden lähisuvussa ei ollut todettuja lukivaikeustapauksia (van Herten ym., 2008). Vastasyntyneiden konsonantin erottelukykyä kartoittaneessa tutkimuksessa MMR-vasteen napaisuus vaihtui lukivaikeuden riskiryhmään kuuluvilla kontrolliryhmää loivemmin napaisuudeltaan positiivisesta negatiiviseksi (Guttorm ym., 2010). Toisaalta vastasyntyneillä tehdyssä tutkimuksessa MMR-vaste vokaalin keston muutokselle näyttäytyi lukivaikeuden riskiryhmällä voimakkaampana kuin kontrolliryhmällä (Leppänen ym., 1999). Perinnöllinen lukivaikeusriski näyttää siis olevan yhteydessä poikkeavuuksiin kuuloerottelukyvyyssä, mutta erot verrattaessa riskittömiin kontrolliryhmiin ovat näyttäytyneet erilaisina eri tutkimuksissa, mikä voi selittyä esimerkiksi koeasetelmien tai tutkittavien ryhmien eroavaisuuksilla eri tutkimusten välillä.

Myös vauvojen MMR-vasteiden jakaumat pään pinnalla ovat poikenneet useissa tutkimuksessa lukivaikeuden riskiryhmien ja kontrolliryhmien välillä. Guttormin ja kumppaneiden (2010) tutkimuksessa lukivaikeusriskissä olevilla vauvoilla pään pinnan vasemman puolen vasteet olivat heikommat kuin kontrolliryhmällä, mutta oikean puolen vasteiden väliltä ei löydetty tilastollisesti merkitsevää ryhmäeroa. Vastaavasti Pihkon (1999) ja van Hertenin

(2008) tutkimusryhmät havaitsivat eroja puheäänteille syntyneiden vasteiden lateralisatiossa siten, että lukivaikeuden riskiryhmällä pään pinnan oikealla puolella vasteet olivat suurempia kuin vasemmalla puolella, kun taas kontrolliryhmällä ei havaittu vastaavaa lateralisatioeroa tai vasteet olivat päinvastoin suurempia vasemmalla puolella. Oikean aivopuoliskon suurempi aktivaatio voisi heijastaa vasemman aivopuoliskon vaimentuneen aktivaation kompensatiota lapsilla, joilla on perinnöllinen riski lukivaikeuteen (Coltheart, 2000; Pugh ym., 2000). Toisaalta esimerkiksi Molfesen (2000) tutkimuksessa sekä pään pinnan vasemmalla että oikealla puolella havaittiin ryhmäeroja, joiden perusteella pystyttiin ennustamaan tulevaa lukivaikeutta. Vasteiden jakaumat pään pinnalla voivat vaihdella eri tutkimuksissa esimerkiksi koeasetelmasta ja tutkittavien iästä riippuen.

Vastasyntyneiltä mitattujen vasteiden ominaisuuksien on myös havaittu olevan yhteydessä myöhempiin esilukutaitoihin ja varsinaiseen lukutaitoon kouluiässä siten, että heikommät vasteet ennustavat heikompaa kielellistä kehitystä (Guttorm ym., 2005; Leppänen ym., 2012; Molfese, 2000). Leppäsen tutkimusryhmän (2012) seurantatutkimuksissa perhetaustansa johdosta lukivaikeuden riskiryhmään kuuluvien vastasyntyneiden MMR-vasteet olivat yhteydessä heikompaan puheenymmärtämiseen kahden ja puolen vuoden iässä, heikompaan kielelliseen muistiin viiden vuoden iässä sekä heikompiin lukutaitoihin koulunaloitusiässä. Kielellisen erityisvaikeuden riskiryhmään kuuluvilla vauvoilla myöhäisempi N2-vaste oli yhteydessä vähäisempään puheentuottoon 20 kuukauden iässä lasten vanhempien arvioimana (Cantiani ym., 2016). Toisaalta Guttorm ja kollegat (2010) havaitsivat, että lukivaikeusriskiryhmään kuuluvista vauvoista ainoastaan he, joilla heti syntymän jälkeen ilmeni puheäänteitä kuunneltaessa kontrolliryhmään verrattuna poikkeavan suurta aktivaatiota pään pinnan oikealla puolella, olivat 6.5 vuoden iässä verrokkeja heikommalla tasolla äänteiden prosessoinnissa, nopeassa nimeämisessä ja kirjainten tunnistamisessa. Sellaiset lukivaikeusriskiryhmään kuuluvat lapset, joilla vastasyntyneenä ei havaittu kontrolliryhmään verrattuna poikkeavan suurta aktivaatiota oikealla puolella pään pintaa, ei myöskään havaittu myöhemmin vastaavia esilukutaitojen puutteita.

Aiempien tutkimusten perusteella voi päätellä, että perhetaustaltaan lukivaikeuden riskiryhmään kuuluvat lapset ja vauvat poikkeavat riskittömistä verrokkiryhmistä useilla kuulotiedon käsittelyn osa-alueella. Toistaiseksi aihetta on kuitenkin tutkittu suhteellisen vähän eikä siksi voida yksiselitteisesti sanoa, minkälaisen äänivirran muutosten kohdalla erot tulevat

esiin tai millä pään pinnan alueilla erot missäkin iässä näyttäytyvät. Edellä kuvatuilla kuntouttavilla interventioilla sekä musiikin avulla on voitu kehittää kuulokykyä vauvaiässä ja lapsuudessa. Vauvaiässä mitattujen vasteiden avulla voidaan myös ennustaa lapsen tulevaa kielellistä kehitystä. Aiemmassa tutkimuksessa sikiöaikana vauvoille esitetyn musiikin soittomäärän on osoitettu olevan positiivisessa yhteydessä kuulokykyä heijastavien vasteiden voimakkuuteen vastasyntyneillä vauvoilla siten, että mitä enemmän vauva on kuullut musiikkia sikiöaikana, sitä voimakkaampia vasteet ovat vastasyntyneenä mitattaessa (Partanen, Kujala, Tervaniemi, & Huotilainen, 2013). Tiedettävästi toistaiseksi ei ole tutkimustietoa siitä, voisiko lukivaikeusriskissä oleville vauvoille kohdennettu musiikki-interventio vaikuttaa heidän kuulokykyjään edistävästi.

1.4 Tutkimuskysymykset ja hypoteesit

Tässä tutkimuksessa selvitettiin varhaisen musiikki-intervention vaikutusta perinnöllisen lukivaikeuden riskiryhmään kuuluvilla vauvoilla. Vauvat oli jaettu syntymän jälkeen kolmeen ryhmään, joista yhdelle soitettiin elämänsä ensimmäisen kuuden kuukauden aikana laulettua musiikkia (jatkossa lauluryhmä), toiselle samojen kappaleiden instrumentaaliversioita (jatkossa instrumentaaliryhmä) ja kolmas toimi kontrolliryhmänä, jolle ei annettu mitään interventiota (jatkossa kontrolliryhmä). Tutkimuksessa mitattiin kuuden kuukauden ikäisten vauvojen ERP-vasteita toistuvalla epäsanalla /tata/ sekä muutoksille epäsanalla jälkimmäisen tavun kestossa, äänenkorkeudessa ja tavun sisältämässä vokaalissa ja vertailtiin niiden eroja ryhmien välillä.

Tämän tutkimuksen tutkimuskysymykset ovat:

1. Eroavatko P1- ja N2-vasteet toistuvalla ärsykkeelle voimakkuuden (amplitudi), ajoituksen (latenssi) tai pään pinnan jakauman suhteen interventio- ja kontrolliryhmien välillä?
2. Eroavatko MMR-vasteet poikkeaville ärsykkeille amplitudin, latenssin tai pään pinnan jakauman suhteen interventio- ja kontrolliryhmien välillä?
3. Eroavatko P1-, N2- tai MMR-vasteet amplitudin, latenssin tai pään pinnan jakauman suhteen lauluryhmän ja instrumentaaliryhmän välillä?
4. Ovatko P1-, N2- tai MMR-vasteiden amplitudi tai latenssi yhteydessä vauvoille esitettyjen interventiomusiikin soittolistojen soittomääriin?

5. Ovatko P1-, N2- tai MMR-vasteiden amplitudi tai latenssi yhteydessä vanhempien raportoimaan vauvan kielellisen kehityksen asteeseen?

Tutkimuksen hypoteesit ovat seuraavat: Musiikki-interventioon osallistuneiden ryhmien toistuvan äänen kuulotiedonkäsittelyyn liittyvät P1- ja N2-vasteet ovat voimakkaampia ja varhaisempia kuin kontrolliryhmällä. Musiikki-interventioon osallistuneiden ryhmien MMR-vasteet muutoksille puheäänteissä ovat voimakkaampia ja varhaisempia kuin kontrolliryhmällä. Vauvoille esitetyn interventiomusiikin soittomäärät ovat positiivisessa yhteydessä vasteiden voimakkuuteen ja negatiivisessa yhteydessä niiden latensseihin, siten että suurempi soittomäärä on yhteydessä voimakkaampiin ja varhaisempiin vasteisiin. Vanhempien raportoima esikielellisen kehityksen aste on positiivisessa yhteydessä vasteiden kehitykseen siten, että vasteet ovat sitä voimakkaampia ja varhaisempia, mitä pidemmällä vanhemmat arvioivat vauvansa esikielellisen kehityksen olevan. Muihin kysymyksiin ei voida esittää tarkkoja hypoteeseja aiemman tutkimustiedon perusteella.

2. MENETELMÄT

2.1 Osallistujat

Mittaukset sijoittuivat elokuun 2015 ja tammikuun 2017 välille ja niihin osallistui tällä aikavälillä yhteensä 81 vauvaa, jotka kuuluivat perinnöllisen lukivaikeuden riskiryhmään. Tutkimukseen osallistuvien vauvojen lukivaikeustausta kartoitettiin osana hanketta, johon tutkimuksen aineisto sisältyy. Tutkimukseen osallistuakseen vähintään yhdellä vauvan vanhemmista täytyi olla joko lähivuosina annettu psykologin tai lääkärin lausunto lukivaikeudesta tai heidän lukivaikeutensa arvioitiin tutkimuksen yhteydessä lukemis- ja kirjoittamistaitojen arviointiin suunnitellulla testipatteristolla (Nevala, Kairaluoma, Ahonen, Aro, & Holopainen, 2006). Vauva valittiin lukivaikeusryhmään, jos vähintään kahdessa neljästä osatestistä vanhemman suoriutuminen jäi vähintään yhden keskihajonnan verran vertailuaineiston keskiarvon alapuolelle. Jos suoriutuminen oli vähintään kahdessa osatestissä yli kaksi keskihajontaa keskiarvon alapuolella, vanhemman lukivaikeus luokiteltiin keskivaikeaksi tai vaikeaksi. Lukemisen ja kirjoittamisen peruskouluaikana ilmenneitä ongelmia kartoitettiin myös haastattelemalla ja kyselylomakkeella. Mikäli tutkitun vanhemman testi-suoriutuminen ei täyttänyt testikriteereitä, mutta hänellä oli aiempi lukivaikeuslausunto, peruskouluaikaisia vaikeuksia sekä lukivaikeuteen liittyvää sukutaustaa (lukivaikeusepäily tai -diagnoosi vähintään yhdellä lähisukulaisella), vanhemmalla katsottiin olevan lukivaikeus, joka oli tutkimuksen aikaan lievä tai kompensoitunut ja vauva hyväksyttiin mukaan tutkimukseen. Aineistoon ei otettu mukaan vauvoja, joiden jommallakummalla vanhemmalla oli todettu ADHD tai joiden vanhemman lukivaikeustausta jäi vahvistumatta.

Lukivaikeuden riskiryhmään kuuluvat vauvat arvottiin 0–2 viikon iässä lauluryhmään, instrumentaaliryhmään ja kontrolliryhmään. Arvonta toteutettiin satunnaisesti lukuunottamatta tilanteita, joissa ryhmien sukupuolijakaumaa pyrittiin tasapainottamaan tai jos vanhemman lukivaikeusstatus oli epävarma ryhmiin arvonnassa aikana ja vahvistui vasta myöhemmin. Tällöin vauva ohjattiin kontrolliryhmään, jotta vältettäisiin intervention toteuttaminen mahdollisesti myöhemmin tutkimuksesta poissuljettaville vauvoille. Vauvat osallistuivat samalla koeasetelmalla toteutettuun EEG-mittaukseen vastasyntyneinä, ja heidät kutsuttiin osana seurantatutkimusta uuteen mittaukseen, kun puolivuotissyntymäpäivä lähestyi.

EEG-aineiston laadun parantamiseksi poistettiin sellaisten vauvojen aineisto, joilla ERP-jaksojen määrät ärsyketyyppejä kohden jäivät alle 50 toiston ja sellaisten vauvojen aineisto, joiden signaali-kohinasuhde oli heikko suodatuksen jälkeenkin. Lisäksi interventioryhmistä poistettiin sellaiset vauvat, joiden kohdalla interventio ei ollut toteutunut riittävässä laajuudessa. Ryhmien sukupuolijakaumien tasapainottamiseksi suurimmasta ryhmästä poistettiin kaksi poikaa. Edellä mainittujen kriteerien perusteella analyysien ulkopuolelle jäi yhteensä 23 vauvaa. Tutkimuksen aineisto koostuu 58 vauvasta, joista 19 kuuluu lauluryhmään (14 poikaa), 20 instrumentaaliryhmään (10 poikaa) ja 19 kontrolliryhmään (12 poikaa). Analyysiin valikoituneiden vauvojen ryhmät eivät poikenneet toisistaan sukupuolen, ikäjakautuksen tai äidin koulutusvuosien suhteen (Taulukko 1). Ryhmät eivät myöskään poikenneet tilastollisesti merkitsevällä tasolla toisistaan luokittelussa, jossa vanhempien lukivaikeus määriteltiin vaikeusasteensa mukaan lieväksi (lievät tai kompensoituneet) tai vaikeaksi (keskivaikeat tai vaikeat; Taulukko 1).

Taulukko 1. Tutkittavien taustatiedot ryhmittäin. Ikä on ilmoitettu kuukausina, äidin koulutus opiskeluvuosina. Suluissa keskihajonnat.

	lauluryhmä	instrumentaaliryhmä	kontrolliryhmä	χ^2 (2)	F (55,2)	p-arvo
tytöt	5	10	7	2.34	-	.31
pojat	14	10	12			
ikä (kk)	6.16 (.07)	6.03 (.07)	6.12 (.07)	-	0.90	.41
äidin koulutus (a)	17.30 (.59)	16.80 (.57)	17.20 (.59)	-	0.18	.84
lukivaikeuden vaikeusaste						
lievä	10	14	13	1.54	-	.46
vaikea	9	6	6			

2.2 Lasten esikielellisen kommunikaation ja kielen ensikartoitus

Vauvojen esikielellistä kehitystä kartoitettiin kuuden kuukauden iässä vanhemmille täytettäväksi annetulla Esikko-kyselyllä (Laakso, Eklund & Poikkeus, 2011). Esikko koostuu kolmesta kielellisen kehityksen osa-alueesta: sosiaalinen kommunikaatio, puheen tuottaminen ja ymmärtäminen. Jokainen osa-alue koostuu kahdeksasta osiosta ja niistä voidaan laskea osa-alueiden summien lisäksi esikielellisen kehityksen kokonaispistemäärä. Laskettuja summapistemääriä voidaan myös verrata ikäluokan normiaineistoon, jonka perusteella on määriteltävy ikätasolle tyypilliset vaihteluvälit sekä eri osa-alueiden niin sanotut kielellisen kehityksen huolirajat, joiden alle jäävät pistemäärät voivat viitata kielellisen kehityksen viivästyymään tai poikkeamaan (Laakso ym., 2011).

2.3 Intervention äänimateriaali ja toteutus

Interventiovaiheessa vauvoille esitetty musiikki koostui useasta 20 minuutin kestoisesta soitto-
telistasta. Soittolistat sisälsivät yksinkertaisella kitarasäestyksellä esitettyjä suomalaisia las-
ten- ja kansanlauluja, joiden melodia joko laulettiin tai soitettiin soittimilla. Lauletuissa ver-
sioissa laulajina toimi kaksi suomenkielistä naislaulajaa ja kolme suomenkielistä mieslaula-
jaa. Instrumentaaliversiossa melodia soitettiin ksylofonilla, metallofonilla, mandoliinilla tai
banjolla. Soittolistat sijoitettiin verkkosivulle, johon interventioon osallistuvat perheet pää-
sivät kirjautumaan yksilöllisillä tunnuksillaan. Verkkosivu tallensi tietoa soitto-
kertojen määrästä ja siitä, mitä vanhemmat raportoivat vauvansa tehneen kuuntelutilanteessa. Verkkosi-
vun käyttöön liittyvien haasteiden takia soitto-
kertojen tallentumisessa tietokantaan oli kui-
tenkin puutteita interventiojakson aikana, joten toteutuneiden soitto-
kertojen määrä varmis-
tettiin paperisella kyselyllä ja puhelintiedusteluilla. Vanhempia ohjeistettiin soittamaan mu-
siikkia vauvalle rauhallisissa ääniolosuhteissa keskimäärin viisi soitto-
listaa viikossa kuuden
kuukauden ajan. Aineistoon valittiin mukaan ne vauvat, jotka olivat kuunnelleet keskimäärin
kolme soitto-
listaa viikossa tai enemmän.

2.4 Ärsykkeet ja koeasetelma

EEG-mittauksessa vauvoille esitetty äänisarja koostui toistuvasta suomalaisen naisen ääntä-
mästä epäsanasta /ta-ta/ ja sen kolmesta eri muunnelmasta (samaa äänisarjaa käyttivät
aiemmin Pakarinen ym., 2014). Usein toistuva /ta-ta/ toimi äänisarjassa vakioärsykkeenä ja
sen erilaiset muunnelmat selvästi harvemmin esitettyinä poikkeavina ärsykkeinä. Epäsan-
an ääntämisen paino oli suomen kielen mukaisesti sanan ensimmäisellä tavulla ja muutokset
sijoittuivat jälkimmäiseen tavuun. Muutoksia oli kolmenlaisia: vokaalin keston muutos (jäl-
kimmäisen vokaalin kesto /ta-ta:/ oli 145 ms, kun vakioärsykkeessä /ta-ta/ se oli 71 ms),
äänenkorkeuden muutos (vakioärsykkeen F0-taso oli 175 Hz ja poikkeavan ärsykkeen jäl-
kimmäisen tavun 225 Hz) ja vokaalin vaihdos (/ta-to/). Äänisarjaan kuului lisäksi akustisesti
poikkeavia luonnollisen ympäristön ääniä muistuttavia ärsykeitä, joiden herättämät vasteet
raportoidaan toisaalla.

Vakioäänen kokonaiskesto oli 300 ms, ja sen kuultavan osuuden kesto noin 250 ms. Jälkim-
mäinen tavu alkoi, kun sanan alusta oli kulunut noin 168 ms. Äänenkorkeuden muutos oli
kuultavissa noin 168 ms, vokaalin muutos noin 180 ms ja vokaalin keston muutos noin 250

ms äänen alkamisen jälkeen. Vokaalin muutos /to/ oli erikseen lausuttu luonnollinen äänite, jonka F0-taso korjattiin /ta-ta/-vakioärsykettä vastaavaksi ja muut poikkeavat äänet muokattiin vakioäänestä Adobe Audition CS6 5.0 -, Build 708 - ja Praat 5.4.01 -ohjelmistoilla. Poikkeavat äänet korjattiin vastaamaan äänenvoimakkuudeltaan vakioääntä. Mittaustilanteessa äänet esitettiin satunnaistetussa sarjassa siten, etteivät kaksi poikkeavaa tai novel-ärsykettä seuranneet toisiaan. Tämän varmistamiseksi poikkeavaa ärsykettä tai novel-ärsykettä seurasi ainakin yksi vakioärsyke. Jokaisen äänisarjan alussa esitettiin neljä vakioärsykettä, jotka poistettiin tarkastelusta analyysivaiheissa. Kesto äänen alusta seuraavan äänen alkuun oli 900 ± 50 ms vaihdellen satunnaisesti kymmenen millisekunnin askelin. Äänisarjoja oli yhteensä neljä, ja ne kestivät jokainen noin seitsemän minuuttia sisältäen 472 ääntä. Jokaisen äänisarjan äänistä 70.1 % oli vakioärsykeitä (noin 331 kpl äänisarjassa), 25.3 % poikkeavia ärsykeitä (8.5 % eli 40 kpl jokaista kolmea poikkeavan ärsykeen tyyppiä) ja 4.5 % novel-ärsykeitä (noin 21 kpl). Jokainen äänisarja soitettiin kokeen aikana yhden kerran. Viimeisenä äänisarjana vauvoille esitettiin noin kolmen minuutin kestoinen vertailukoeasetelma, jossa toistui 200 kertaa vokaalin keston muutos /ta-ta:/. Näin saatiin mitattua MMR-vaste ärsykkeelle, joka oli akustisesti identtinen poikkeavana ja toistuvana ärsykkeenä (menetelmä ovat aiemmin käyttäneet esim. Schröger & Wolff, 1998).

2.5 EEG-mittaus

EEG-mittaukset tehtiin HUS Jorvin sairaalassa Espoossa ja Jyväskylän yliopiston psykologian laitoksella tähän tarkoitukseen valmistelluissa tiloissa. Jokaisesta ryhmästä kolmen vauvan mittaus tehtiin Jyväskylässä ja loput Espoossa. Molemmissa mittauspaikoissa mittauksia tekivät koulutuksen saaneet tutkimushoitajat tai tehtävään koulutetut tutkimusavustajat. EEG-mittauksen aikana vauvat istuivat vanhempansa sylissä ja hoitaja tarkkaili vauvaa pyrkien pitämään vauvan rauhallisena paikoillaan äänettömästi leluja esitellen (Kuva 1). Vauvan takana olevasta kaiuttimesta esitettiin samanaikaisesti äänisarjaa. Jorvin sairaalan mitaustilan rajoituksista johtuen kaiutin oli siellä tehdyissä EEG-mittauksissa hieman lähempänä vauvan vasenta kuin oikeaa korvaa, viistosti vauvan takana. Äänet esitettiin 65 dB:n (SPL) voimakkuudella Genelec-kaiuttimesta, joka oli asetettu noin 40 cm:n etäisyydelle vauvan päästä.

Äänisarjat esitettiin Presentation 17.2 -ohjelmistolla (NeurobehaviouralSystems Ltd., Berkeley, Kalifornia, Yhdysvallat). Mittaushuoneen taustahäly oli noin 40 dB (SPL). Aineisto kerättiin BrainProducts QuickAmp 10.08.14 -vahvistimella ja BrainVision Recorder 1.20.0801 -ohjelmistolla (molemmat: BrainProducts GmbH, Gilching, Saksa). EEG-päähineessä (ActiCap, Brain Products GmbH, Gilching, Saksa) oli 16 aktiivikanavaa ja lisäksi yksi kummankin korvan taakse kartiolisäkkeen (engl. *mastoid*) päälle asetettava kanava ja maadoituskanava: Fp1, Fp2, F7, F3, Fz, F4, F8, C3, Cz, C4, P7, P3, Pz, P4, P8, Oz, LM, RM. Kanavien sijoitus noudatti kansainvälistä 10/20-järjestelmää. Mittauksen aikana signaali referoitiin kaikkien kanavien keskiarvoon. EEG-vahvistimen näytteenottotaajuus oli 500 Hz ja mittauksen aikainen alipäästösuodatus oli 100 Hz. Mittaus valmisteluineen ja jälkitöineen kesti noin tunnin.



Kuva 1. Vauvan EEG-mittaustilanne Jorvin sairaalassa Espoossa.

2.6 EEG-aineiston esikäsittely ja analyysi

EEG-aineiston esikäsittely ja analyysi tehtiin seuraavien ohjelmistojen avulla: MATLAB and Statistics Toolbox Release 2012a (The Mathworks, Inc., Natick, Massachusetts, Yhdysvallat), EEGlab Toolbox v12.0.2.5b (Free Software Foundation, Inc., Boston, Yhdysvallat) ja CBRUPlugin v1.34b (laboratoriokäyttöön suunnitellut Tommi Makkonen, Helsinki,

Suomi). Silmämääräisen tarkastelun perusteella yksittäisten vauvojen aineistosta jätettiin analyysien ulkopuolelle sellaisten kanavien aineisto, joissa esiintyi voimakasta korkeataajuuksista häiriötä tai hyvin suuria voimakkuuden vaihteluita yli puolessa kyseiseltä vauvalta mitatusta EEG-aineistosta.

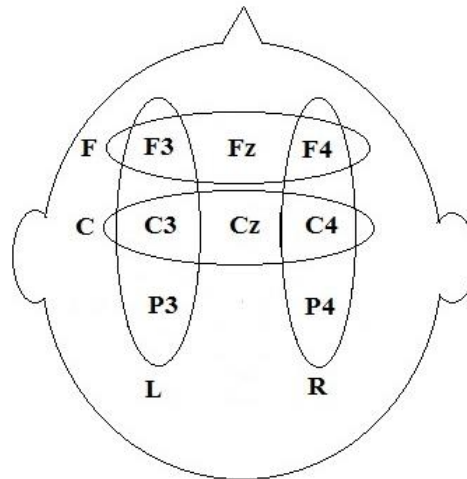
Aineistosta suodatettiin jatkotarkastelua varten taajuuskaista väliltä 0.5–25 Hz. EEG-aineiston vertailupisteinä usein käytettävät korvan taakse kartiolisäkkeiden päälle asetetut kanavat (LM ja RM) osoittautuivat silmämääräisissä aineiston tarkasteluissa häiriöisiksi, joten niiden sijaan aineiston vertailupisteinä käytettiin kanavia P7 ja P8. Erillisten ärsykesarjojen aineisto yhdistettiin toisiinsa ja signaali katkottiin jaksoihin, jotka alkoivat 100 ms ennen ärsykkeen alkua ja päättyivät 840 ms ärsykkeen alun jälkeen. Signaalin perustaso korjattiin ärsykkeen alkua edeltävän 100 ms jakson keskiarvoamplitudiksi. Aineistosta poistettiin jaksot, joiden aikana signaalin voimakkuus oli jollakin kanavalla suurempaa kuin $\pm 150 \mu V$. Sellaiset tutkittavat, joilla ärsykkeeseen liittyvien EEG-jaksojen määrä jäi alle 50 jakson yhden tai useamman ärsyketyypin osalta, jätettiin jatkotarkastelun ulkopuolelle (9 vauvaa). Ainoastaan kontrolloidun vakioärsykkeen tapauksessa tutkimukseen otettiin mukaan nekin vauvat, joilla EEG-jaksojen määrä oli alle 50, mutta näiden viiden vauvan osalta ei analysoitu kontrolloituun vakioärsykkeeseen verrattuja vasteita. Poistamisten jälkeiset lopulliset EEG-jaksojen määrät ärsyketyypeittäin esitetään Taulukossa 2. Kuhunkin ärsyketyypin liittyvistä EEG-jaksoista laskettiin ärsykekohtainen keskiarvo. Jokaisen vauvan ja jokaisen mitatun kanavan EEG-jaksot keskiarvoistettiin erikseen.

Taulukko 2. Ärsykkeisiin liittyvien EEG-jaksojen määrät ärsyketyypeittäin

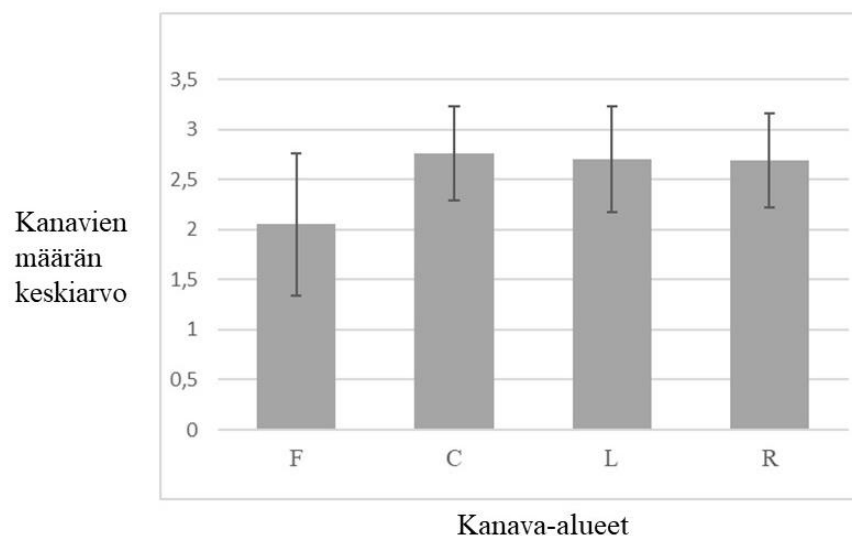
Ärsyke	Keskiarvo	Keskihajonta	Pienin arvo	Suurin arvo
Vakioärsyke	419	94	243	668
Vokaalin keston muutos	89	19	50	134
Äänen korkeuden muutos	89	20	53	144
Vokaalimuutos	90	20	52	129
Kontrolloitu vakioärsyke	115	35	52	198

Yksittäisten kanavien aineistot yhdistettiin aluekohtaisiksi keskiarvoiksi signaali-kohinasuhteen parantamiseksi (Kuva 2). Näistä kanavaryhmistä jätettiin yksittäisiltä tutkittavilta pois häiriöiset kanavat. Näin ollen yksilöiden kanavaryhmät sisälsivät hieman eri määriä aineistoa (Kuva 3). MMR-vasteita varten jokaiselle ryhmälle muodostettiin kanavaryhmäkohtaiset vähennyskäyrät. Vähennyskäyrien muodostamista varten vähennettiin poikkeaa-

valle äänelle syntyneestä keskiarvovasteesta toistuvalla vakioärsykkeelle syntynyt keskiarvovaste jokaisen poikkeavan ärsyketyypin osalta erikseen. Vakioärsykkeen vasteita tarkasteltiin sellaisinaan. Vokaalin keston muutokselle laskettiin toinen vähennyskäyrä vähentämällä poikkeavalle vokaalin kestolle syntyneestä vasteesta vertailukoeasetelman vaste.



Kuva 2. Yksittäisistä kanavista keskiarvoistamalla muodostetut kanava-alueet. Esimerkiksi kanava-alue F muodostuu F3, Fz ja F4 -kanavien aineistojen keskiarvosta ja kanava-alue L kanavien F3, C3 ja P3 -kanavien aineistojen keskiarvosta.



Kuva 3. Kanavakeskiarvojen muodostamiseen käytettyjen kanavien lukumäärät kanava-alueittain. Kuvaan merkitty kanavien määrien keskiarvot (pylväät) ja keskihajonnat (jannot).

2.7 Aineiston tilastollinen käsittely

Aineiston tilastollisessa käsittelyssä käytettiin ohjelmistoja CBRUPlugin v1.34b- ja SPSS Statistics v24.0 (International Business Machines Corp., New York, Yhdysvallat). Analyysissä tarkasteltiin vakioärsykkeen synnyttämiä vasteita ja erityyppisiin poikkeaviin ärsykkeisiin liittyviä MMR-vasteita ryhmän vaikutuksen ja päänpinnan jakauman tutkimiseksi. Vastehuille määritettiin aikaväli, jonka ajalta laskettiin amplitudikeskiarvo jokaiselle ärsyketypille, ryhmälle ja kanavaryhmälle erikseen. Amplitudikeskiarvojen huippujen ympärille muodostettiin jokaista ryhmää ja jokaista ärsyketyyppiä varten aikaikkunat, joiden kesto oli 50 ms.

Aikavälit valittiin silmämääräisen tarkastelun pohjalta paikoista, joissa vasteet näyttäytyivät suurimpina. Vakioärsykkeen osalta mitattiin varhaisen positiivisen vasteen (jatkossa P1) huippukohdat aikaväliltä 100–200 ms äänen alusta ja myöhäisemmän negatiivisen vasteen (jatkossa N2) huippukohdat aikaväliltä 300–400 ms äänen alusta. Vastaavasti MMR-vasteista vokaalin pituuden muutoksen vähennyskäyrän huippukohdat mitattiin aikaväliltä 400–600 ms ja taajuuden sekä vokaalin muutosten vähennyskäyrien huippukohdat aikaväliltä 300–500 ms äänen alusta. Ryhmäkohtaisten huippukohtien perusteella jatkoanalyysjä varten muodostettiin 50 ms:in aikaikkunat, jotka on esitetty Taulukossa 3. Kaikki aikaikkunat valittiin sen kanava-alueen perusteella, jolla kunkin ärsykkeen vaste oli keskimääräisesti suurin. Kaikki muut vasteet näyttäytyivät suurimpina F-alueella, paitsi N2-vaste, joka oli keskimääräisesti suurin C-alueella. Vasteiden eroamista nollatasosta testattiin t-testillä jokaisen vasteen ja ryhmän osalta erikseen kanava-alueella, jolla vaste oli suurin.

Muuttujien normaalijakautuneisuutta tarkasteltiin Shapiro-Wilkin testillä. Vakioärsykkeelle syntyneen P1-vasteen amplitudi ja N2-vasteen latenssi eivät noudattaneet normaalijakaumaa (yhdeällä tai useammalla kanava-alueella $p < .05$). MMR-vasteissa normaalijakaumaoletus ei toteutunut vokaalin keston muutokselle syntyneen vasteen latenssin osalta, kun vaste muodostettiin vertaamalla normaaliin vakioärsykkeeseen eikä amplitudin suhteen, kun vaste muodostettiin vertaamalla kontrolloituun vakioärsykkeeseen (yhdeällä tai useammalla kanava-alueella $p < .05$). Näiden vasteiden tarkastelussa käytettiin jatkossa ei-parametrisia menetelmiä.

Vasteiden jakaumaa pään pinnalla ja ryhmien välisiä eroja sekä jakauman ja ryhmän yhdysvaikutuksia tarkasteltiin toistomittausten varianssianalyysillä (engl. *repeated measures analysis of variance*, jatkossa ANOVA-R). ANOVA-R:t tehtiin erikseen vasteiden voimakkuuksille (amplitudi) ja ajoituksille (latenssi) ja niissä testattiin vasteiden jakaumaa erikseen pään etu-takasuunnassa F- ja C-kanavaryhmillä (jatkossa FC-malli) ja pään vasen-oikeasuunnassa L- ja R-kanavaryhmillä (jatkossa LR-malli). ANOVA-R:ien yhteydessä laskettiin efektikoon määrittämiseksi osittaiset eta-neliöt (η^2). Merkitsevien ja melkein merkitsevien ryhmävaikutusten sekä ryhmän ja vasteen jakauman yhdysvaikutusten osalta analyysijä jatkettiin parittaisilla *post hoc* -vertailuilla, joiden tulokset korjattiin Bonferroni-korjauksella. Mikäli sfäärisyysoletus ei toteutunut, käytettiin Greenhouse-Geisserin korjausta. Niiden vasteiden osalta, jotka eivät noudattaneet normaalijakaumaa, ryhmäeroja tarkasteltiin Kruskal-Wallis testin avulla.

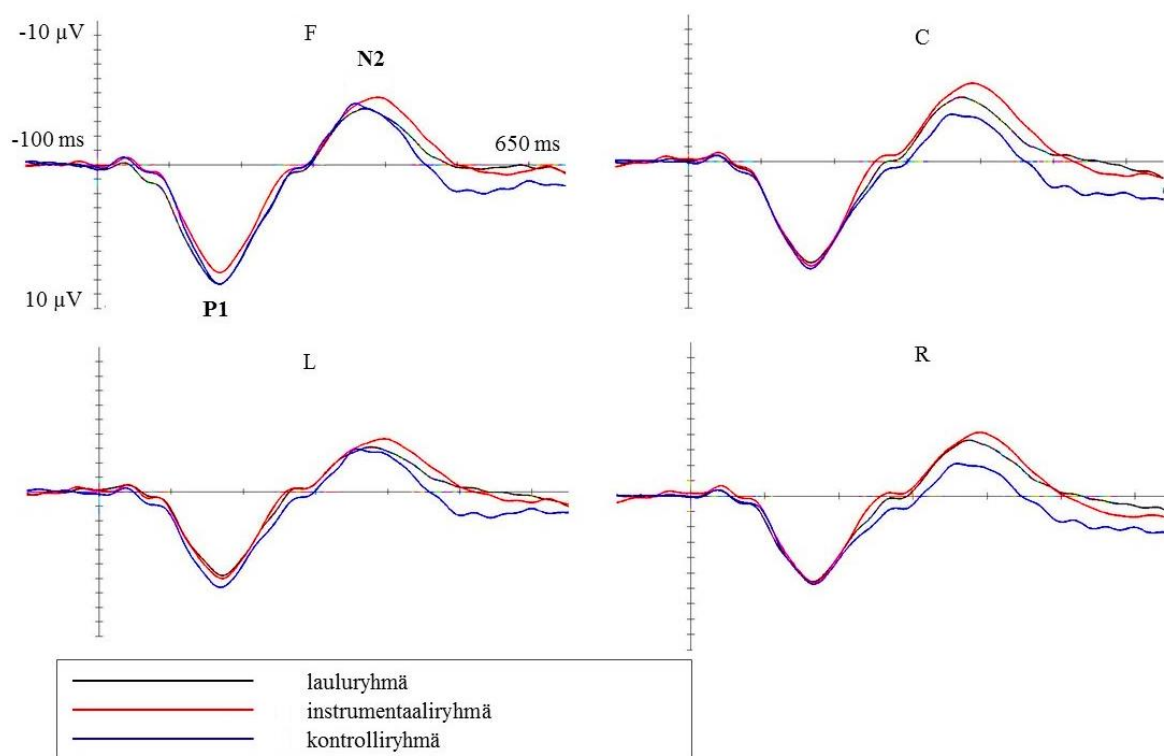
Soittokertojen määrä ei ollut normaalisti jakautunut lauluryhmässä, joten vasteiden yhteyttä interventiomusiikin soittokertoihin tarkasteltiin laskemalla Spearmanin järjestyskorrelaatiokertoimet raportoitujen soittokertojen ja vasteiden latenssien ja amplitudien suhteen yli interventioryhmien. Lisäksi interventioryhmiä verrattiin toisiinsa soittokertojen määrien suhteen käyttäen Mann-Whitneyn U-testiä. Esikko-kyselyn pistemäärien ja soittokertojen määrien yhteyksiä vasteisiin tarkasteltiin ainoastaan kanava-alueella, jolla vasteet näyttäytyivät voimakkaimpina.

Lisäksi tutkittiin vanhempien arvioita vauvansa esikielellisestä kehityksestä (Esikko-kysely) ja niiden yhteyksiä vauvoilta mitattuihin ERP-vasteisiin. Ryhmien välisiä eroja kyselyn tuloksissa tutkittiin yksisuuntaisella varianssianalyysillä, ja tilanteissa, joissa ryhmien välinen virhevarienssien yhtäsuuruusoletus ei toteutunut, käytettiin Kruskal-Wallis testiä. Esikko-kyselyn kokonaispistemäärän yhteyttä tarkasteltiin vakioärsykkeiden aiheuttamien vasteiden sekä MMR-vasteiden amplitudiin ja latenssiin laskemalla muuttujille Pearsonin korrelaatiokertoimet koko aineistosta yli ryhmien. Muuttujille, jotka eivät noudattaneet normaalijakaumaa, käytettiin Spearmanin järjestyskorrelaatiokertoimia. Tilastollisesti merkitseviä korrelaatioita tarkasteltiin lisäksi lineaarisen regressioanalyysin avulla siten, että jokaiselle merkitsevälle korrelaatiolle luotiin oma regressiomallinsa. Malleissa vasteen amplitudi tai latenssi oli riippuva ja Esikko-kyselyn kokonaispistemäärä riippumaton tekijä. Regressiomalleille laskettiin myös selitysaste.

3. TULOKSET

3.1 Vasteet vakioärsykkeelle

Vakioärsyke aiheutti positiivisen huipun (P1) 145–195 ms äänen alusta ja negatiivisen huipun (N2) 350–410 ms äänen alusta (Kuva 4). P1-vaste erosi F-kanava-alueella tilastollisesti merkitsevästi nollatasosta lauluryhmässä [$t(18) = 10.16, p < .01$], instrumentaaliryhmässä [$t(19) = 11.47, p < .01$] ja kontrolliryhmässä [$t(19) = 8.72, p < .01$] ryhmäkohtaisten huippukohtien keskiarvon mukaan määritellyillä aikaikkunoilla (Kuva 4, aikaikkunat Taulukko 3). P1-vasteen latenssissa havaittiin lateraalisuuden tilastollisesti merkitsevä päävaikutus ja frontaalisuuden melkein merkitsevä päävaikutus (Taulukko 4). Lateraalisuuden päävaikutus aiheutui siitä, että P1-vaste esiintyi keskimäärin aiemmin R-alueella (ka = 166 ms) kuin L-alueella (ka = 170 ms). Frontaalisuuden melkein merkitsevä päävaikutus aiheutui siitä, että P1-vaste esiintyi C-alueella aiemmin (ka = 167 ms) kuin F-alueella (ka = 170 ms).



Kuva 4. Vakioärsyksen aiheuttamat P1- ja N2-vasteet F-, C-, L- ja R-kanava-alueilta ryhmittäin.

Taulukko 3. Aika, josta eteenpäin muutos äänteessä oli kuultavissa (ms äänen alusta), analyseissä käytetyt ryhmäkohtaiset, ärsykekohtaiset aikaikkunat (ms) sekä vasteiden huippuamplitudien (μV) ja latenssien (ms) keskiarvot. Keskihajonnat suluisissa.

Ärsyke	poikkeaman alku	aikaikkuna	latenssi	amplitudi
Vakioärsykkeen P1-vaste				
lauluryhmä		145–195	168 (15.87)	7.85 (3.37)
instrumentaaliryhmä		145–195	170 (15.4)	7.01 (2.73)
kontrolliryhmä		145–195	171 (16.8)	7.76 (3.88)
Vakioärsykkeen N2-vaste				
lauluryhmä		360–410	383 (23.65)	-3.60 (3.34)
instrumentaaliryhmä		360–410	387 (16.0)	-4.47 (4.19)
kontrolliryhmä		350–400	369 (24.2)	-3.85 (3.57)
Vokaalin pituuden muutos	180			
(normaali vakioärsyke)				
lauluryhmä		485–535	510 (34.44)	6.08 (3.76)
instrumentaaliryhmä		480–530	507 (45.48)	4.64 (4.98)
kontrolliryhmä		470–520	496 (39.25)	6.03 (4.82)
Vokaalin pituuden muutos	180			
(kontrolloitu vakioärsyke)				
lauluryhmä		490–540	523 (33.24)	7.85 (6.12)
instrumentaaliryhmä		515–565	542 (29.73)	4.49 (6.12)
kontrolliryhmä		480–530	505 (42.02)	6.45 (6.94)
Äänenkorkeuden muutos	168			
lauluryhmä		370–420	395 (61.44)	5.02 (4.90)
instrumentaaliryhmä		385–435	409 (45.78)	6.19 (5.36)
kontrolliryhmä		370–420	394 (53.16)	4.84 (4.77)
Vokaalin muutos	250			
lauluryhmä		375–425	401 (45.28)	4.16 (3.64)
instrumentaaliryhmä		370–420	397 (47.74)	4.74 (4.19)
kontrolliryhmä		380–430	406 (56.68)	3.02 (4.98)

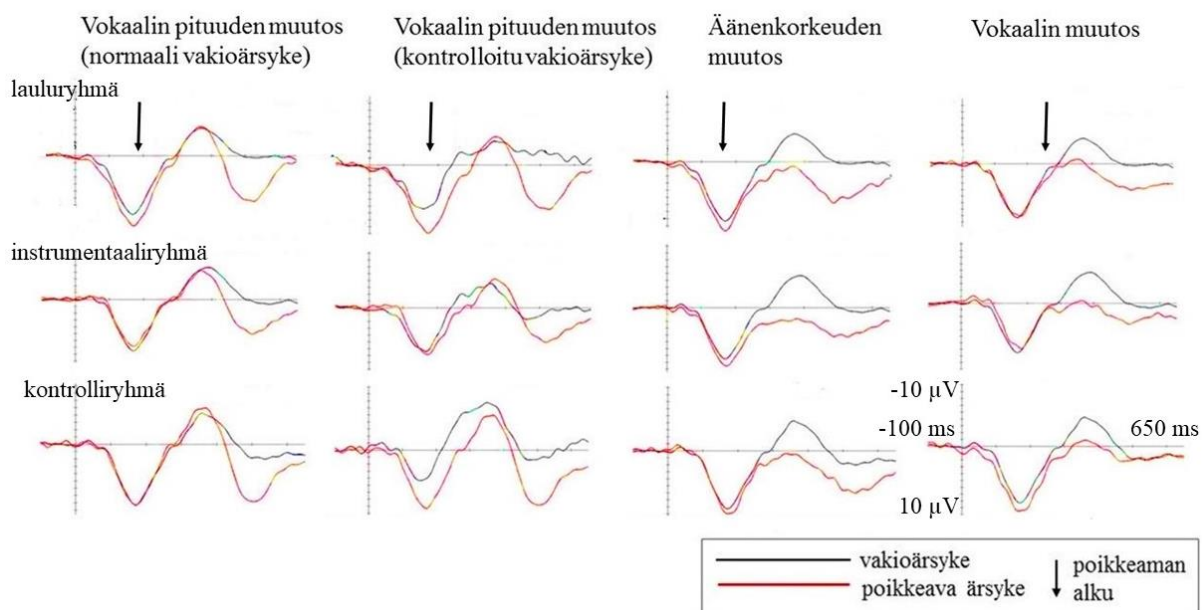
N2-vaste erosi F-kanava-alueella tilastollisesti merkitsevästi nollassa lauluryhmässä [$t(18) = -5.32, p < .01$], instrumentaaliryhmässä [$t(19) = -6.44, p < .01$] ja kontrolliryhmässä [$t(19) = -4.46, p < .01$] ryhmäkohtaisten huippukohtien keskiarvon mukaan määritellyillä aikaikkunoilla. N2-vasteen latenssissa havaittiin tilastollisesti merkitsevä ryhmäero F-alueella [$\chi^2(2,54) = 7.28, p = .03$]. Parittaisessa vertailussa latenssiero oli instrumentaali- ja kontrolliryhmän välillä tilastollisesti merkitsevä ($p = .03$) siten, että N2-vaste saavutti huipunsa aikaisemmin kontrolliryhmällä (ka = 369 ms) kuin instrumentaaliryhmällä (ka = 388 ms, Kuva 4).

N2-vasteen amplitudissa havaittiin tilastollisesti merkitsevät yhdysvaikutukset sekä ryhmän ja lateraalisuuden että ryhmän ja frontaalisuuden välillä (Taulukko 4). FC-mallin yhdysvaikutukset näyttäytyivät parittaisissa vertailuissa siten, että kontrolliryhmässä N2-vaste oli amplitudiltaan merkitsevästi pienempi C-alueella ($k_a = -3.05 \mu V$) kuin F-alueella ($k_a = -3.86 \mu V$, $p = .05$), kun taas interventoryhmissä F- ja C-alueilta mitatuissa vasteissa ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa. Myös LR-mallissa yhdysvaikutus ilmeni samaan tapaan siten, että kontrolliryhmällä N2-vasteet olivat keskimäärin pienemmät R-alueella ($k_a = -1.96 \mu V$) kuin L-alueella ($k_a = -2.76 \mu V$, $p = .03$), kun taas interventoryhmillä alueiden amplitudit eivät eronneet merkitsevästi toisistaan.

3.2 MMR-vasteet vokaalin keston muutokselle

3.2.1 Normaalin vakioärsyksen avulla muodostettu MMR-vaste

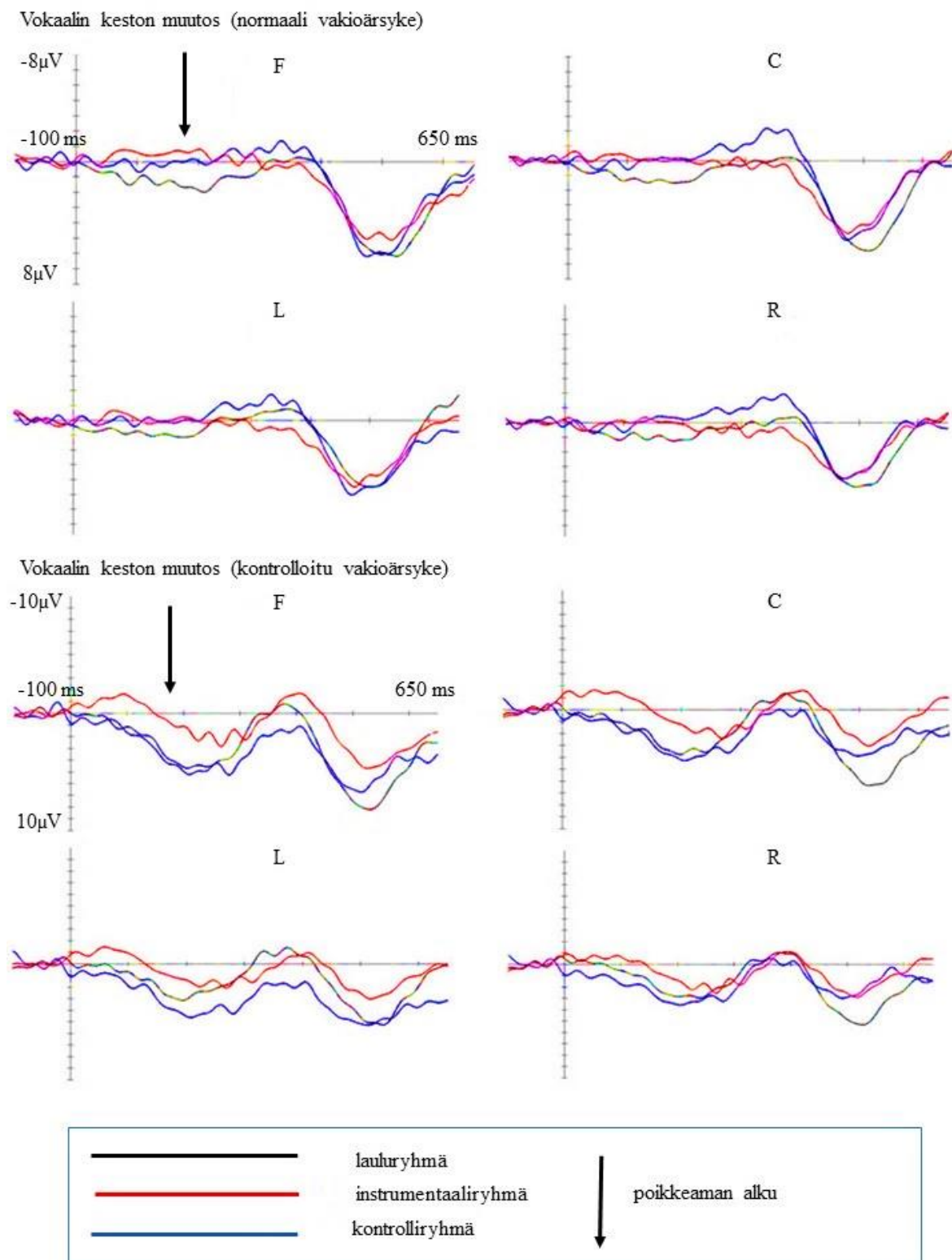
Muutos sanan jälkimmäisen tavun vokaalin kestossa (/ta-ta:/) synnytti normaaliin vakioärsykkeeseen verrattuna positiivisen MMR-vasteen, jonka huippukohta ajoittui kaikilla ryhmillä 470–535 ms äänen alusta (Kuva 5). Vaste erosi F-kanava-alueella tilastollisesti merkitsevästi nollatasosta lauluryhmässä [$t(18) = 7.05$, $p < .01$], instrumentaaliryhmässä [$t(19) = 4.16$, $p < .01$] ja kontrolliryhmässä [$t(19) = 5.46$, $p < .01$] ryhmäkohtaisten huippukohtien keskiarvon mukaan määritellyillä aikaikkunoilla (Kuva 6, aikaikkunat Taulukko 3). Vasteen amplitudeissa tai latensseissa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä ryhmän, frontaalisuuden tai lateraalisuuden pää- tai yhdysvaikutuksia (Taulukko 4).



Kuva 5. Vasteet vakioärsykkeelle ja poikkeaville ärsykkeille F-alueella ryhmittäin.

3.2.2 Kontrolloidun vakioärsyksen avulla muodostettu MMR-vaste

Muutos sanan jälkimmäisen tavun vokaalin pituudessa (/ta-ta:/) synnytti kontrolloituun vakioärsykkeeseen verrattuna positiivisen MMR-vasteen, jonka huippukohta sijoittui aikavälille 480–565 ms äänen alusta (Kuva 5). Vaste erosi F-kanava-alueella tilastollisesti merkitsevästi nollassa lauluryhmässä [$t(14) = 4.96, p < .01$], instrumentaaliryhmässä [$t(18) = 3.20, p = .01$] ja kontrolliryhmässä [$t(19) = 4.05, p < .01$] ryhmäkohtaisten huippukohtien keskiarvon mukaan määritellyillä aikaikkunoilla (Kuva 6). FC-mallissa frontaalisuudella ja ryhmällä havaittiin tilastollisesti merkitsevä yhdysvaikutus vasteen latenssiin (Taulukko 4). Parittaisessa vertailussa instrumentaali- ja kontrolliryhmän välillä havaittiin F-alueella tilastollisesti merkitsevä latenssiero, jossa kontrolliryhmän keskimääräinen vasteen huippukohta ($k_a = 505$ ms) esiintyi merkitsevästi instrumentaaliryhmän huippua ($k_a = 542$ ms) aikaisemmin ($p < .01$, Kuva 6).



Kuva 6. Vokaalin keston muutoksen aiheuttamien vasteiden vähennyskäyrät ryhmittäin. Kuvan yläosan vähennyskäyrät on muodostettu käyttäen normaalia vakioärsykettä ja kuvan alaosan vähennyskäyrät käyttäen kontrolloitua vakioärsykettä.

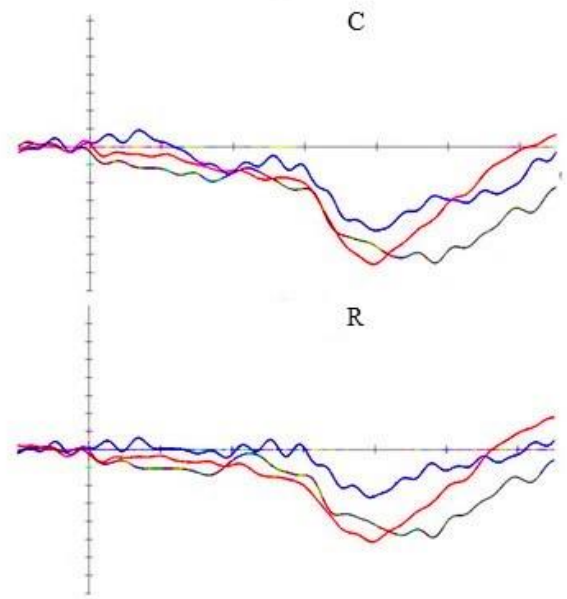
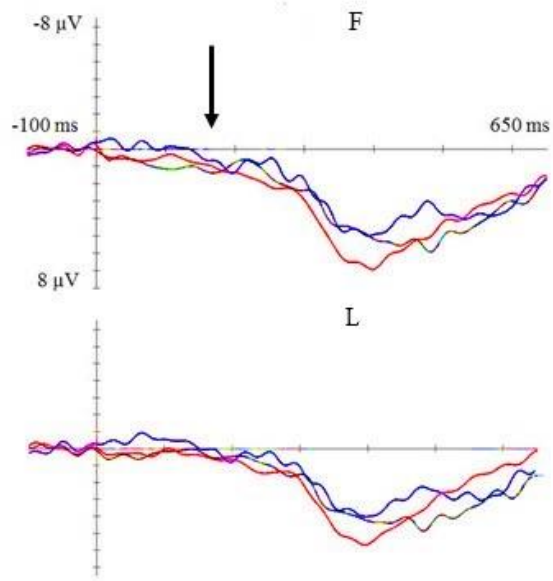
3.3 MMR-vasteet äänenkorkeuden muutokselle

Muutos jälkimmäisen tavun taajuudessa synnytti vakioärsykkeeseen verrattuna positiivisen MMR-vasteen, jonka huippukohta ajoittui kaikilla ryhmillä 370–435 ms äänen alusta (Kuva 5). Vaste erosi F-kanava-alueella tilastollisesti merkitsevästi nollatasosta lauluryhmässä [$t(18) = 4.47, p < .01$], instrumentaaliryhmässä [$t(19) = 5.16, p < .01$] ja kontrolliryhmässä [$t(19) = 4.42, p < .01$] ryhmäkohtaisten huippukohtien keskiarvon mukaan määritellyillä aikaikkunoilla (Kuva 7, aikaikkunat Taulukko 3). ANOVA-R-analyyseissä ei havaittu pää- tai yhdysvaikutuksia frontaalisuuden, lateraalisuuden tai ryhmäerojen suhteen.

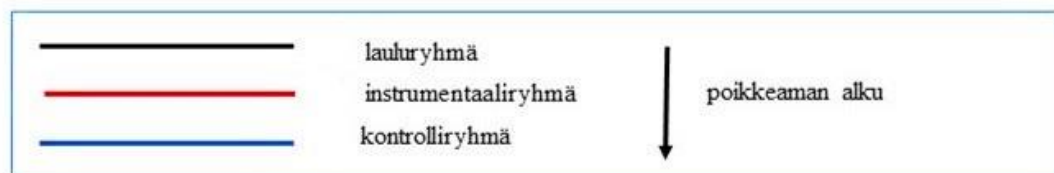
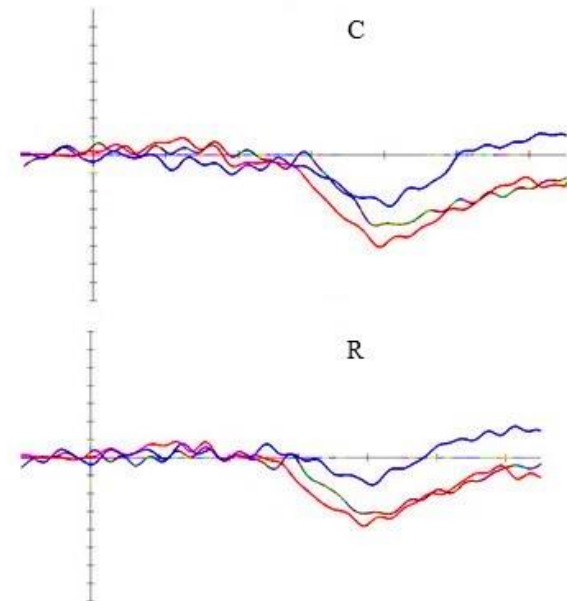
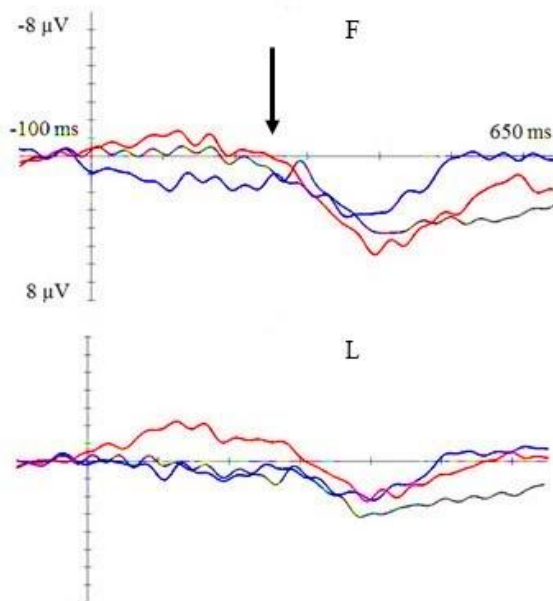
3.4 MMR-vasteet vokaalin muutokselle

Muutos sanan jälkimmäisen tavun vokaalissa /ta-to/ aiheutti positiivisen MMR-vasteen, jonka huippukohta sijoittui kaikilla ryhmillä aikavälille 370–430 ms äänen alusta (kuva 5). Vaste erosi F-kanava-alueella tilastollisesti merkitsevästi nollatasosta lauluryhmässä [$t(18) = 4.98, p < .01$], instrumentaaliryhmässä [$t(19) = 5.05, p = .01$] ja kontrolliryhmässä [$t(18) = 2.65, p = .02$] ryhmäkohtaisten huippukohtien keskiarvon mukaan määritellyillä aikaikkunoilla (Kuva 7, aikaikkunat Taulukko 3). LR-mallissa lateraalisuudella ja ryhmällä havaittiin tilastollisesti melkein merkitsevä yhdysvaikutus (Taulukko 4). Yhdysvaikutus aiheutui siitä, että instrumentaaliryhmässä vasteen amplitudi oli pienempi L-alueella ($k_a = 1.87 \mu V$) kuin R-alueella ($k_a = 3,50 \mu V$) tilastollisesti merkitsevällä tasolla ($p = .03$), kun taas muissa ryhmissä vasteiden amplitudit eivät poikenneet toisistaan L- ja R-alueiden välillä.

Äänenkorkeuden muutos



Vokaalin vaihdos



Kuva 7. Äänen korkeuden muutoksen ja vokaalin muutoksen /tato/ aiheuttamien vasteiden vähennyskäyrät F-, C-, L- ja R-alueilla.

Taulukko 4. ANOVA-R:t ryhmien välisille eroille ja vasteiden jakaumalle keskiarvoamplitudeissa ja -latensseissa. Merkitsevät ja melkein merkitsevät tulokset merkitty lihavoinnilla Taulukko jatkuu seuraavalle sivulle.

Ärsyke	Muuttuja	F(df ₁ , df _{virhe})	p-arvo	η^2
Vakioärsyke				
P1-latenssi				
FC-malli	frontaalisuus	3.69 (1,55)	.06	.07
	ryhmä	0.26 (2,55)	.77	.01
	frontaalisuus*ryhmä	0.10 (2,55)	.91	.00
LR-malli	lateraalisuus	12.19 (1,55)	<.01	.18
	ryhmä	0.25 (2,55)	.75	.01
	lateraalisuus*ryhmä	0.94 (2,55)	.40	.03
N2-amplitudi				
FC-malli	frontaalisuus	0.18 (1,55)	.68	.01
	ryhmä	0.78 (2,55)	.47	.03
	frontaalisuus*ryhmä	3.88 (2,55)	.03	.12
LR-malli	lateraalisuus	0.04 (1,55)	.84	.00
	ryhmä	1.07 (2,55)	.35	.04
	lateraalisuus*ryhmä	3.96 (2,55)	.03	.13
Kestomuutos (normaali vakioärsyke)				
Amplitudi				
FC-malli	frontaalisuus	1.49 (1,55)	.23	.03
	ryhmä	0.83 (2,55)	.44	.03
	frontaalisuus*ryhmä	0.42 (2,55)	.66	.02
LR-malli	lateraalisuus	2.81 (1,55)	.10	.05
	ryhmä	0.26 (2,55)	.77	.01
	lateraalisuus*ryhmä	0.71 (2,55)	.50	.03
Kestomuutos (kontrolloitu vakioärsyke)				
Latenssi				
FC-malli	frontaalisuus	2.23 (1,49)	.14	.04
	ryhmä	2.13 (2,49)	.13	.08
	frontaalisuus*ryhmä	4.70 (2,49)	.01	.16
LR-malli	lateraalisuus	0.06 (1,49)	.82	.00
	ryhmä	0.20 (2,49)	.82	.01
	lateraalisuus*ryhmä	1.08 (2,49)	.35	.04
Äänenkorkeuden muutos				
Amplitudi				
FC-malli	frontaalisuus	0.00 (1,55)	.97	.00
	ryhmä	0.56 (2,55)	.58	.02
	frontaalisuus*ryhmä	0.46 (2,55)	.63	.02
LR-malli	lateraalisuus	1.42 (1,55)	.24	.03
	ryhmä	1.17 (2,55)	.32	.04
	lateraalisuus*ryhmä	0.91 (2,55)	.41	.03
Latenssi				
FC-malli	frontaalisuus	2.49 (1,55)	.12	.04
	ryhmä	0.17 (2,55)	.85	.01
	frontaalisuus*ryhmä	1.81 (2,55)	.17	.06

Ärsyke	Muuttuja	F(df ₁ , df _{virhe})	p-arvo	η ²
LR-malli	lateraalisuus	1.87 (1,55)	.18	.03
	ryhmä	0.93 (2,55)	.40	.03
	lateraalisuus*ryhmä	0.02 (2,55)	.98	.00
Vokaalin muutos				
Amplitudi				
FC-malli	frontaalisuus	0.48 (1,55)	.49	.01
	ryhmä	1.32 (2,55)	.28	.05
	frontaalisuus*ryhmä	0.11 (2,55)	.90	.00
LR-malli	lateraalisuus	0.54 (1,55)	.47	.01
	ryhmä	1.03 (2,55)	.37	.04
	lateraalisuus*ryhmä	2.53 (2,55)	.09	.08
Latenssi				
FC-malli	frontaalisuus	0.73 (1,55)	.40	.01
	ryhmä	0.00 (2,55)	.99	.00
	frontaalisuus*ryhmä	0.63 (2,55)	.54	.02
LR-malli	lateraalisuus	2.65 (1,55)	.11	.05
	ryhmä	0.21 (2,55)	.81	.01
	lateraalisuus*ryhmä	1.56 (2,55)	.22	.05

3.5 Vasteiden yhteydet interventiomusiikin soittomääriin

Interventiomusiikin soittomäärät olivat instrumentaaliryhmässä keskimäärin hieman suurempia ($Md = 161$, $n = 18$) kuin lauluryhmässä ($Md = 144$, $n = 18$). Ero soittomäärissä ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä [$U(33) = 171$, $p = .78$]. Lauluryhmässä soittomäärien vaihteluväli oli laajempi (108–446) kuin instrumentaaliryhmässä (80–242). Instrumentaaliryhmän soittomäärät noudattivat normaalijakaumaa [$Shapiro-Wilk(18) = 0.96$, $p = .53$], kun taas lauluryhmän soittomäärät eivät noudattaneet normaalijakaumaa [$Shapiro-Wilk(18) = 0.56$, $p < .001$], vaan jakauma oli oikealle vino niin, että pieniä soittomääriä oli paljon ja suuria vähän. Lisäksi lauluryhmässä oli yksi poikkeuksellisen suuri soittomäärien arvo, 446 kuunneltua soittolistaa. Interventiomusiikin soittomäärät eivät olleet yhteydessä mitattujen vasteiden latensseihin tai amplitudeihin tilastollisesti merkitsevällä tasolla (Taulukko 6).

3.6 Vasteiden yhteydet esikielelliseen kehitykseen

Esikko-kyselyn ryhmäkohtaiset tulokset on esitetty Taulukossa 5. Ryhmien välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja sosiaalisen kommunikaation [$\chi^2(2,54) = 0.459$, $p = .795$], puheen tuottamisen [$F(50,2) = 0.650$, $p = .202$] tai ymmärtämisen [$F(48,2) = 0.283$, $p = .754$] alakategorioissa eikä kokonaispistemäärissä [$F(46,2) = 0.335$, $p = .717$]. Kontrolliryhmän

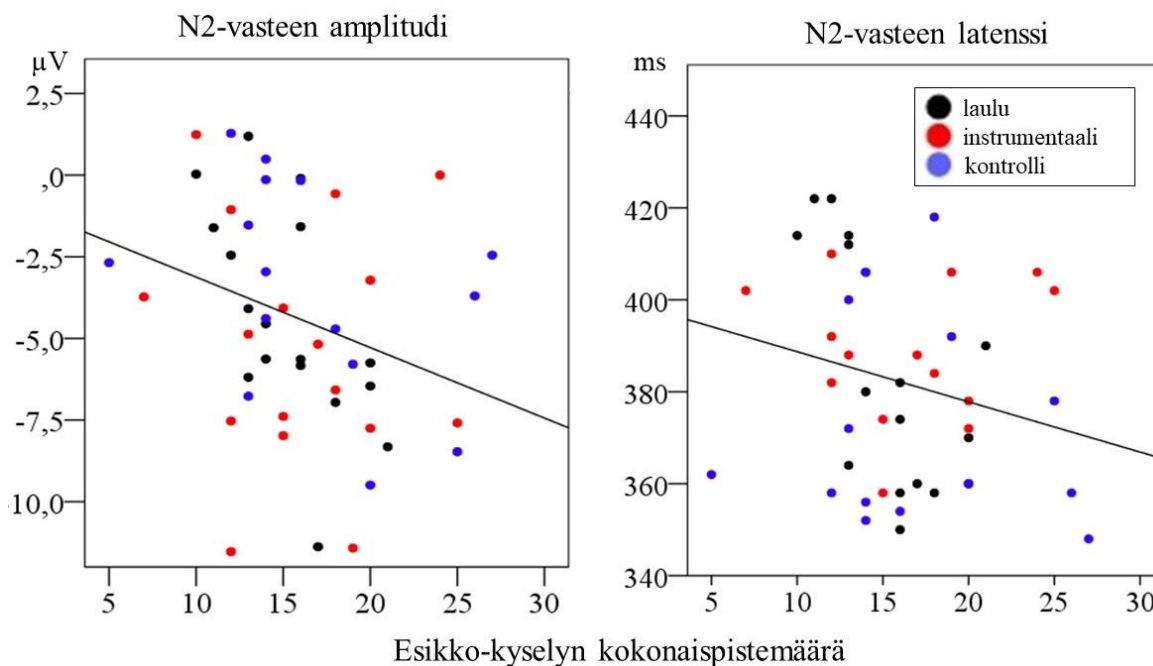
pisteet olivat keskimäärin hieman muita ryhmiä korkeammat kaikilla osa-alueilla, mutta myös pistemäärien vaihtelu oli suurinta kontrolliryhmän sisällä. Kaikki pistemäärien keskiarvot sijoittuivat pääasiassa normiaineiston perusteella määritellylle normaalivaihtelun alueelle, mutta jokaisessa ryhmässä oli myös vauvoja, joiden pistemäärät jäivät normaalikehityksen alueen alapuolelle (Taulukko 5).

Taulukko 5. Esikko-kyselyn tulokset ryhmittäin.

	vastanneita	keskiarvo	keskihajonta	vaihteluväli	normaali- kehityksen alue
Sosiaalinen kommunikaatio, max 26p.					
lauluryhmä	18	9.8	1.77	7–13	8–11
instrumentaaliryhmä	18	10.5	3.63	4–17	
kontrolliryhmä	18	10.4	2.95	5–16	
Puheen tuottaminen, max 14p.					
lauluryhmä	18	1.7	1.08	0–4	2–4
instrumentaaliryhmä	20	1.7	0.98	0–4	
kontrolliryhmä	15	2.5	2.10	0–7	
Ymmärtäminen, max 17p.					
lauluryhmä	17	3.7	1.53	1–7	3–5
instrumentaaliryhmä	19	3.5	1.43	1–7	
kontrolliryhmä	15	3.9	1.75	0–7	
Kokonaispistemäärä, max 57p.					
lauluryhmä	17	15.3	3.22	10–21	14–20
instrumentaaliryhmä	17	16.0	4.82	7–25	
kontrolliryhmä	15	16.7	5.95	5–27	

Vasteiden osalta Esikko-kyselyn kokonaispistemäärällä havaittiin negatiivinen yhteys N2-vasteen amplitudiin ja latenssiin, siten että Esikko-kyselyn kokonaispistemäärän kasvaessa N2-vaste voimistui ja aikaistui (Taulukko 6). Lisäksi Esikko-kyselyn kokonaispistemäärällä havaittiin positiivinen yhteys äänenkorkeuden muutoksen aiheuttaman MMR-vasteen latenssiin siten, että Esikko-kyselyn kokonaispistemäärän kasvaessa MMR-vaste äänenkorkeuden muutokselle viivästyi (Taulukko 6). N2-vasteen amplitudin ja Esikko-kyselyn kokonaispistemäärän välillä oli tilastollisesti merkitsevä lineaarinen yhteys [$F(1,47) = 4.39$, $p = .04$, $R^2 = .09$]. Myös äänenkorkeuden muutoksen synnyttämän MMR-vasteen latenssin ja Esikko-kyselyn kokonaispistemäärän välillä oli tilastollisesti merkitsevä lineaarinen yhteys [$F(1,46) = 4.07$, $p = .05$, $R^2 = .08$]. Esikko-kyselyn kokonaispistemäärä kasvaessa yhdellä pisteellä N2-vaste voimistui 0.3 μV ja toisaalta N2-vasteen huippu aikaistui 0.3 ms (Kuva

8). Lisäksi äänenkorkeuden muutoksen yhteydessä syntyneen MMR-vasteen huippu viivästyi noin 0.3 ms Esikko-kyselyn kokonaispistemäärän kasvaessa yhdellä pisteellä.



Kuva 8. Esikko-kyselyn kokonaispistemäärän yhteys N2-vasteen amplitudiin ja äänenkorkeudenmuutoksen aiheuttaman MMR-vasteen latenssiin.

Taulukko 6. Interventiomusiikin soittomäärien ja Esikko-kyselyn kokonaispistemäärän yhteys mitattujen vasteiden amplituideihin ja latensseihin. Spearmanin korrelaatiokertoimet merkitty yläindeksillä (^a), muut korrelaatiot Pearsonin korrelaatiokertoimia.

Ärsyke	Interventiomusiikkilistojen soittokerrat		Esikko-kokonaispistemäärä	
	amplitudi	latenssi	amplitudi	latenssi
Vakioärsyke				
P1	-.02 ^a	.01	.06 ^a	.05
N2	.15	-.11 ^a	-.29*	-.30* ^a
Keston muutos (normaali vakioärsyke)				
	-.19	-.10 ^a	.09	-.20 ^a
Keston muutos (kontrolloitu vakioärsyke)				
	-.12 ^a	.23	-.08 ^a	-.25
Äänenkorkeuden muutos				
	-.18	-.13	.03	.29*
Vokaalin muutos				
	.02	-.10	-.04	.12

*p<.05

4. POHDINTA

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, vaikuttaako syntymän jälkeisten kuuden kuukauden aikana toteutettu musiikki-interventio lukivaikeusriskisten vauvojen kuulokykyihin. Tätä tarkasteltiin vertailemalla musiikki-interventioryhmiin kuuluvien vauvojen ja kontrolliryhmän vauvojen pään pinnalta mitattuja ERP-vasteita puolen vuoden ikäisenä tilanteessa, jossa heille esitettiin puhuttuja epäsanvoja ja niiden muutoksia. Lisäksi tutkittiin, eroavatko laulettua musiikkia kuunnelleiden vauvojen kuulokyvyt sellaisten vauvojen kuulokyvyistä, jotka olivat kuunnelleet samojen musiikkikappaleiden instrumentaaliversioita. Mielenkiinnon kohteena oli myös se, ovatko mitattujen ERP-vasteiden ominaisuudet yhteydessä toisaalta interventiomusiikin soittolistojen soittomääriin, toisaalta vanhempien raportoimaan vauvan kielellisen kehityksen asteeseen. Tutkimuksen tulokset antavat viitteitä siihen suuntaan, että varhaiset musiikki-interventiot ovat yhteydessä muutoksiin esitietoisessa kuulotiedon käsittelyssä, joskaan huomattavia hypoteesien mukaisia musiikki-intervention vaikutuksia ei löytynyt. Toisaalta kuulokykyjen ja vanhempien arvioiman vauvan esikielellisen kehityksen välillä havaittiin yhteyksiä. Tämä on tiettävästi ensimmäinen tutkimus, jossa on tarkasteltu musiikki-intervention vaikutusta lukivaikeusriskissä olevien vauvojen kuulokykyihin.

Silmämääräisesti arvioituna ryhmien väliset erot vasteissa olivat ennako-oletusten mukaisia siten, että interventioryhmien vasteet olivat pääsääntöisesti voimakkaampia kuin kontrolliryhmän vasteet. Nämä erot eivät kuitenkaan enimmäkseen olleet tilastollisesti merkitseviä. Ryhmien välillä havaittiin tilastollisesti merkitseviä eroja vakioärsykkeen synnyttämien N2-vasteiden voimakkuudessa, ajoituksessa ja vasteen jakaumassa pään pinnalla. N2-vaste saavutti F-alueella kontrolliryhmässä huippunsa aiemmin kuin instrumentaaliryhmässä. N2-vaste oli kontrolliryhmällä merkitsevästi pienempi C-alueella kuin F-alueella ja vastaavasti merkitsevästi pienempi R-alueella kuin L-alueella, kun taas interventioryhmillä vasteet eivät poikenneet toisistaan lateraalisuuden tai frontaalisuuden suhteen. MMR-vaste vokaalin kestön muutokselle saavutti huippunsa aiemmin kontrolliryhmässä kuin instrumentaaliryhmässä, mutta tämä ero tuli esille vain silloin kun vastetta verrattiin kontrolloituun vakioärsykkeeseen. MMR-vasteissa vokaalimuutokselle ryhmien välillä ilmeni eroja vasteiden jakaumassa pään pinnalla siten, että instrumentaaliryhmässä vaste oli pienempi L-alueella kuin R-alueella, kun taas muilla ryhmillä pään pinnan vasemman ja oikean puoliskon välillä

ei havaittu merkitseviä eroja vasteen voimakkuudessa. Muilla vasteilla tai muilla pään pinnan alueilla ei havaittu tämän tutkimuksen aineiston perusteella merkitseviä ryhmäeroja. Vasteiden amplitudit tai latenssit eivät myöskään olleet yhteydessä interventiomusiikin soitomääriin. Esikko-kyselyn kokonaispistemäärä sen sijaan oli yhteydessä N2-vasteen latenssiin ja amplitudiin sekä äänenkorkeuden muutoksen synnyttämän MMR-vasteen latenssiin, että Esikko-kyselyn kokonaispistemäärän kasvaessa N2-vaste voimistui ja aikaistui, eli toistuvan äänen piirteiden tehokas prosessointi oli positiivisessa yhteydessä vauvojen esikielellisen kehityksen asteeseen. Kuuloerottelukykyjen osalta hypoteesit eivät toteutuneet odotetusti niin, että musiikki-interventio olisi voimistanut MMR-vasteita. Tutkimuksessa saavutettiin kuitenkin mielenkiintoista, uutta tietoa siitä, miten vauvojen esitietoiset kuulokyvyt ovat yhteydessä heidän esikielelliseen kehitykseensä, ja miten varhaisella musiikki-interventiolla voidaan mahdollisesti vaikuttaa näihin kykyihin.

4.1 Perinnölliseen lukivaikeuden riskiryhmään kuuluvien vauvojen kuulokyvyt

Tässä tutkimuksessa EEG-mittauksessa usein toistuva epä sana /tata/ synnytti vasteen, jonka selvimmät piirteet muodostuivat suuresta positiivisesta huipusta ja sitä seuraavasta suuresta negatiivisesta huipusta. Vaste muistuttaa aiemmin kuuden kuukauden ikäisiltä mitattuja vasteita (esim. Kushnerenko ym., 2002a). Poikkeamat lausutussa epäsanassa aiheuttivat MMR-vasteen, joka oli napaisuudeltaan positiivinen kaikissa vertailtavissa ryhmissä ja kaikilla poikkeavilla ääniärsykkeillä. Aiemmissa tutkimuksissa on mitattu vastaavanlaisia positiivisia MMR-vasteita samanikäisillä perhetaustaltaan lukivaikeuden riskiryhmään kuuluvilla vauvoilla (Leppänen ym., 2002a; Pihko ym., 1999). Vasteet poikkesivat tilastollisesti merkitsevästi nollatasosta kaikilla poikkeavien ääniärsykkeen tyypeillä ja kaikissa ryhmissä, joten voidaan päätellä, että kaikissa ryhmissä vauvat keskimäärin erottivat erilaiset muutokset äänivirrassa.

Tämän tutkimuksen vertailukoeasetelmassa kontrolloitiin kestonmuutoksen akustisten erojen vaikutus MMR-vasteeseen. Kontrolloidun vakioärsykkeen avulla muodostettu MMR-vaste kestonmuutokselle oli napaisuudeltaan positiivinen ja ajoittui keskimäärin samaan ajankohtaan kuin normaalin vakioärsykkeen avulla muodostettu vaste. Eri koeasetelmien vasteet poikkesivat toisistaan joiltakin osin erityisesti instrumentaaliryhmässä, jossa vertailukoeasetelman MMN-vaste saavutti huippunsa keskimäärin hieman myöhemmin kuin normaalissa

koeasetelmassa (Taulukko 3). Kontrolloidun vakioärsyksen vasteet mitattiin EEG-mittauksen lopuksi esittämällä kontrolloitu vakioärsyke 200 kertaa peräkkäin, mikä todennäköisesti vaikutti vasteen voimakkuuteen heikentävästi. Aiemmissa tutkimuksissa on nimittäin havaittu, että toistettaessa samaa ääniärsykettä lukuisia kertoja peräkkäin äänen aiheuttamat varhaiset ERP-vasteet pienenevät toistojen myötä (katsaus: Näätänen & Winkler, 1999). Kontrolloidun vakioärsyksen toistomäärät olivat pienempiä kuin normaalin vakioärsyksen ja lisäksi viiden vauvan aineisto jouduttiin jättämään vähäisten toistomäärien takia analyysien ulkopuolelle, joten keskiarvoon summattavia vasteita oli vertailukoeasetelmassa vähemmän kuin normaalissa koeasetelmassa. Kuitenkin molemmissa koeasetelmissa mitattiin tilastollisesti merkitsevät vasteet kaikissa ryhmissä, joten MMR-vasteiden voi tulkita edustavan kontekstisidonnaista erottelutehtävää pelkän akustisen eron käsittelyn sijaan. Tulos on samansuuntainen kuin Hådenin ja kumppaneiden (2016) tutkimuksessa ja antaa lisätukea sille, ettei vauvaiän MMR-vasteita voida selittää pelkästään uusien hermosolujen aktivoitumisella äänivirran muuttuessa.

Tämän tutkimuksen koko aineistossa yli ryhmien P1-vasteessa havaittiin tilastollisesti merkitsevä lateraalisuusero siten, että P1-vaste esiintyi keskimäärin aiemmin aivojen oikealla puolella kuin vasemmalla puolella. Aiemmassa tutkimuksessa 17 kuukauden ikäisillä lukivaikeuden riskiryhmään kuuluvilla lapsilla on löydetty samansuuntainen tulos, jonka on tulkittu aiheutuvan siitä, että lukivaikeuteen liittyy taipumusta kompensoida vasemman aivopuoliskon toimintaa oikean aivopuoliskon aktivaatiolla (van Herten ym., 2008). Tässä tutkimuksessa lateraalisuuserojen tulkintaa vaikeuttaa se, että mittaustilanteessa Jorvin sairaalassa kaiutin oli tilasyistä hieman lähempänä vauvan vasenta kuin oikeaa korvaa, mikä on luultavasti vaikuttanut vasteiden lateralisaatioon oikean puolen vasteita voimistavasti. Kaiken kaikkiaan tässä tutkimuksessa mitatut vasteet muistuttavat kuitenkin ominaisuuksiltaan aiemmissa tutkimuksissa mitattuja vasteita, ja erot esimerkiksi huippuamplitudien ajoituksessa selittyvät koeasetelmien eroilla eri tutkimusten välillä.

4.2 Musiikki-intervention vaikutus toistuvan äänen käsittelyyn aivoissa

Aiemmissa tutkimuksissa on havaittu, että lukivaikeuden ja sen kanssa usein yhdessä esiintyvän kielellisen erityisvaikeuden riskiryhmiin kuuluvilla lapsilla P1- tai N2-vaste esiintyy pienempänä tai myöhäisempänä kuin lapsilla, joilla ei ole perinnöllistä riskiä kielellisen kehityksen häiriöön (Benasich ym., 2006; Cantiani ym., 2016; Choudhury & Benasich, 2010;

Lovio ym., 2010; van Herten ym., 2008). Tässä tutkimuksessa musiikki-intervention kuntouttavan vaikutuksen oletettiin vaikuttavan siten, että vasteet voimistuisivat tai aikaistuisivat, sillä aiemmissa tutkimuksissa pienten lasten P1- ja N2-vasteiden on havaittu voimistuvan ja aikaistuvan iän myötä (esim. Čeponienė ym., 2002; Choudhury & Benasich, 2010).

Tämän tutkimuksen perusteella näyttää siltä, ettei musiikki-interventio ole vaikuttanut hypoteesien mukaisesti P1-vasteen amplitudiin, latenssiin tai lateralisaatioon, koska P1-vasteen osalta ei löydetty mitään merkitseviä eroja ryhmien väliltä. Tässä tutkimuksessa havaittiin, että instrumentaalimusiikkia kuunnelleella interventoryhmällä N2-vaste saavutti huippunsa myöhemmin kuin kontrolliryhmällä. Kontrolli- ja lauluryhmän välillä ei havaittu eroa kyseisen vasteen latenssissa vaan ero ilmeni ainoastaan instrumentaali- ja kontrolliryhmän välillä. Tämä tulos viittaisi siihen suuntaan, ettei ainakaan instrumentaalimusiikkia sisältänyt musiikki-interventio olisi vaikuttanut vauvojen kuulokykyä edistävasti vaan hypoteesin vastaisesti pikemminkin vaikuttanut jopa kuulokykyjen kehitystä hidastavasti, sillä vasteiden on havaittu varhaistuvan kehityksen myötä (esim. Choudhury & Benasich, 2010). Lisäksi tässä tutkimuksessa havaittu Esikko-kyselyn negatiivinen yhteys N2-vasteen latenssiin viittaa siihen suuntaan, että varhaisempi N2-vaste heijastaa pidemmälle kehittyneitä esikielellisiä kykyjä. Silmämääräisesti arvioituna latenssiero voisi toisaalta aiheutua myös siitä, että instrumentaaliryhmän N2-vaste on kontrolliryhmän vastetta voimakkaampi ja saavuttaa sen takia huippunsa myöhemmin, mikä viittaisi päinvastoin siihen, että instrumentaaliryhmällä kuulokyvyt olisivat kehittyneet kontrolliryhmää nopeammin. Ryhmien vasteiden voimakkuudessa ei kuitenkaan havaittu merkitsevää eroa. Tietävästi aiempia tutkimustuloksia siitä, miten musiikki-interventio vaikuttaisi pienten vauvojen N2-vasteisiin ei ole saatavilla, mutta tämän tutkimuksen perusteella musiikki-interventio ei ainakaan näyttäisi aikaistavan N2-vasteen latenssia tai vaikuttavan merkitsevästi sen amplitudiin.

Tämän tutkimuksen perusteella näyttää sen sijaan siltä, että musiikki-interventio vaikuttaisi N2-vasteen jakaumaan vauvojen pään pinnalla siten, että vaste voimistuu pään keskiosissa suhteessa etuosiin ja toisaalta oikealla puolella suhteessa vasempaan. Tässä tutkimuksessa havaittiin, että kontrolliryhmällä N2-vaste oli voimakkaampi päänpinnan etu- kuin keskiosissa ja vasemmalla kuin oikealla puolella, kun taas interventoryhmillä ei havaittu merkitseviä eroja pään pinnan etu- ja keskiosien tai oikean ja vasemman puoliskon välillä. Näiden tulosten perusteella musiikki-interventio näyttäisi tasoittavan N2-vasteen voimakkuuseroja

vasemman ja oikean aivopuoliskon välillä. Tämä saattaisi mahdollisesti johtua siitä, että intervention seurauksena oikean puolen aivoalueet osallistuvat puheäänien käsittelyyn yhtä tehokkaasti kuin vasemman puolen aivoalueet. Kuitenkaan oikeallakaan puolella ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja ryhmien välillä vasteiden voimakkuudessa.

Lukivaikeuden riskiryhmään kuuluvien vauvojen N2-vasteiden voimakkuuden on havaittu poikkeavan lateralisaatioltaan sellaisten vauvojen N2-vasteista, joilla ei ole perinnöllistä riskiä lukivaikeuteen (van Herten ym., 2008). Tämän tutkimuksen aineistossa kontrolliryhmällä N2-vaste oli pienempi pään pinnan oikealla puolella kuin vasemmalla, kun taas aiemmassa tutkimuksessa 17 kuukauden ikäisillä lukivaikeuden riskiryhmään kuuluvilla vauvoilla N2-vaste oli suurempi pään pinnan oikealla puolella kuin vasemmalla puolella, ja kontrolliryhmällä vasteissa ei ollut lateralisaatioeroja (van Herten ym., 2008). Tulosten poikkeavuudet voivat selittyä koeasetelmien eroilla, sillä tutkittavat vauvat olivat eri-ikäisiä ja käytetyt ärsykkeet poikkesivat toisistaan tutkimusten välillä. Van Hertenin ja kumppaneiden tutkimuksessa ärsykkeinä käytettiin usein toistuvaa tavua /bAk/ ja poikkeavaa ärsykettä /dAk/. Toisaalta tämän tutkimuksen aineistossa lateralisaatiotulosten tulkintaa ja vertailua aiempiin tutkimuksiin vaikeuttaa kaiuttimen sijoittelu mittauksen aikana lähemmäs vasenta kuin oikeaa korvaa (ks. luku 2.5).

Tämän pro gradu -tutkimuksen aineisto viittaa siihen suuntaan (ks. luku 3.1), että musiikki-interventiolla voi vaikuttaa lukivaikeuden riskiryhmään kuuluvien vauvojen toistuvan äänen käsittelyyn osallistuviin hermoverkkoihin, sillä mitatut vasteet painottuivat interventioryhmällä eri osiin pään pinnalla kuin kontrolliryhmällä. Interventio vaikuttaa kuntouttaneen N2-vasteen heijastamaa toistuvan äänen käsittelyä erityisesti oikealla puolella aivoja, mikä voisi edelleen vahvistaa ajatusta siitä, että lukivaikeuksiset kompensoivat vasemman aivopuoliskon toiminnan puutteita oikealla aivopuoliskolla (Coltheart, 2000; Pugh ym., 2000) ja että musiikki-interventio olisi nopeuttanut näiden kompensatiokeinojen omaksumista. Vauvaiässä N2-vaste ei ole vielä yhtä vakiintunut kuin P1-vaste eikä sen toiminnallisia merkityksiä täysin tunneta (Čeponienė ym., 2002), joten on vaikea sanoa, minkälaisia prosesseja havaitut erot tarkalleen ottaen heijastavat.

4.3 Musiikki-intervention vaikutus kuuloerottelukykyyn

Aiemmissa tutkimuksissa lukivaikeusriskissä olevilla vauvoilla on havaittu verrokki-vauvoista poikkeavia edellytyksiä erotella muutoksia puheäänteissä (Guttorm ym., 2005; Leppänen ym., 2002a; Pihko ym., 1999; van Leeuwen ym., 2006). Toisaalta musiikki-interventioiden on havaittu tehostavan puheäänteiden erottelukykyä vauvaiässä (Zhao & Kuhl, 2016) ja kouluiässä (Chobert, François, Velay & Besson, 2014; Chobert, Marie, François & Schön, 2011; Magne, Schön & Besson, 2006; Moreno ym., 2009) tutkittavilla, joilla ei ole perinnöllistä riskiä lukivaikeuden kehittymiselle. Lukivaikeuteen kohdistetuissa musiikki-interventioissa ei ole tietävästi aiemmin tutkittu ERP-vasteilla interventioiden vaikutuksia kuuloerottelukykyihin. Tämän tutkimuksen hypoteesina oli, että lukivaikeusriskissä olevien vauvojen puheäänteiden erottelukyky olisi voimistunut musiikki-intervention myötä, mikä näyttäytyisi voimakkaampina tai varhaisempina MMR-vasteina tai kontrolliryhmästä poikkeavana vasteiden jakaumana pään pinnalla.

MMR-vasteiden osalta ainoa tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä havaittiin keston muutoksen yhteydessä, ja siinäkin ainoastaan kontrolloidusta vakioärsykkeestä muodostetun vähennyskäyrän osalta F-alueella siten, että kontrolliryhmässä MMR-vaste saavutti huipunsa aiemmin kuin instrumentaaliryhmässä. Tulos ei ole hypoteesien mukainen, sillä aiemmissa tutkimuksissa interventiovaikutukset ovat näkyneet MMR-vasteiden voimistumisena. Normaalisti vakioärsykkeestä muodostetuissa vähennyskäyrissä ei kuitenkaan esiintynyt vastaavaa ryhmäeroa, joten havaittu ryhmäero ei ole yksiselitteisesti tulkittavissa. Ryhmäeroa voi selittää esimerkiksi se, että kontrolloidun vakioärsykkeen toistomäärät olivat häiriöisyyden takia pienempiä kuin normaalin vakioärsykkeen, ja analyysiin mukaan otettavia vauvoja oli vähemmän, jolloin kontrolloidun vakioärsykkeen avulla muodostetussa vasteessa on voinut satunnaisesti painottua erilainen osa yksilöiden välisestä vaihtelusta kuin normaalin vakioärsykkeen avulla muodostetussa vasteessa. Mikäli tulos johtuu todellisesta interventiovaikutuksesta eikä satunnaisvaikutuksista koeasetelmien eroissa, on se tulkittavissa niin, että instrumentaalimusiikkiin pohjautunut interventio on heikentänyt puheäänteiden erottelukykyä, kun ennakko-oletusten mukaan interventio olisi pikemminkin voimistanut erottelukykyä.

Tässä tutkimuksessa ryhmät erosivat toisistaan myös vokaalimuutoksen aiheuttaman MMR-vasteen jakaumassa siten, että instrumentaaliryhmällä MMR-vasteen amplitudi vokaalimuutokselle oli merkitsevästi voimakkaampi aivojen oikean puolen kuin vasemman puolen päältä mitattuna, kun taas laulu- ja kontrolliryhmässä vasteiden voimakkuudella ei ollut merkitseviä eroja vasemman ja oikean pään pinnan alueen välillä. Aiemmassa tutkimuksessa lukivaikeusriskisten vauvojen on havaittu erottavan kontrolliryhmiä heikommin muutoksia, joissa yksittäisen tavun konsonantti vaihtuu (van Leeuwen ym., 2006). Myös kuuden vuoden ikäisten lukivaikeusriskisten lasten on havaittu erottavan vokaalin vaihdoksia kontrolliryhmiä heikommin, mikä ilmeni heikompina MMN-vasteina pään pinnan molemmilla puolilla (Lovio ym., 2010). Tämän tutkimuksen perusteella vaikuttaa siltä, että erityisesti instrumentaalimusiikkiin pohjautunut interventio on voinut vaikuttaa jossain määrin voimistavasti vauvojen aivojen oikean puoliskon kykyyn erottaa muutoksia puhutuissa äänteissä. Kuitenkaan ryhmien välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa vasteiden voimakkuudessa millään mitatuista pään pinnan alueista.

Tämän tutkimuksen perusteella vaikuttaa siltä, että musiikki-interventio edistää jossain määrin kykyä erottaa puhuttuja vokaaleita toisistaan tai ainakin vaikuttaa siihen, missä aivojen osissa tietoa vokaalimuutoksesta käsitellään. Mahdollisesti musiikin toistuvat, hitaammat ja korostuneemmat muutokset äänivirrassa ovat voineet helpottaa vauvojen puheäänteiden erillisten, pysyvien kategorioiden muodostumista. Voidaankin ajatella, että musiikin kuuntelu on auttanut vauvojen aivoja luomaan oikeaa aivopuoliskoa aktivoivia, kompensoivia keinoja äänivirran muutosten erottamiseen, sillä lukivaikeuksisten on havaittu kompensoivan vasemman aivopuoliskon puutteellista toimintaa oikealla aivopuoliskolla (Coltheart, 2000; Pugh ym., 2000). Toisaalta missään tässä tutkimuksessa mitatuissa MMR-vasteissa ei havaittu aiempien tutkimusten perusteella muodostettujen hypoteesien mukaisia tilastollisesti merkitseviä ryhmäeroja vasteiden voimakkuudessa, eivätkä vasteet myöskään olleet tilastollisesti merkitsevässä yhteydessä interventiomusiikin soittomääriin. Tässä tutkimuksessa poikkeavien ärsykkeiden toistomäärät olivat suhteellisen pieniä, joten ryhmäerot saattoivat jäädä tilastollisen merkitsevyystason alle esimerkiksi suhteellisen suuren yksilöiden välisen vaihtelun takia. Toisaalta voi olla, että käytetyn koeasetelman kuuloerottelutehtävä oli niin helppo, ettei se riittänyt tuomaan esille eroja ryhmien välillä, vaan kaikki ryhmät erottivat äänivirrassa tapahtuneet muutokset samalla tavalla.

Aiemmissa tutkimuksissa musiikki-interventioiden vaikutuksia kuulokykyihin on tietävästi tutkittu ainoastaan lapsilla ja vauvoilla, joilla ei ole perinnöllistä riskiä lukivaikeuteen. Kuuden kuukauden ikäisillä vauvoilla tehdyssä tutkimuksessa musiikkiharjoitteluun osallistuneilla vauvoilla havaittiin kontrolliryhmää voimakkaammat MMR-vasteet epäsanan keskellä olevan konsonantin kestonmuutokselle (Zhao & Kuhl, 2016). Tässä tutkimuksessa ei havaittu vastaavanlaisia ryhmäeroja vokaalin keston muutoksen synnyttämän MMR-vasteen amplitudeissa. Lisäksi aiemmissa tutkimuksissa kouluikäisten lasten musiikkiharjoittelun on havaittu voimistavan äänenkorkeuden erottelukykä myös puheäänteillä samaan tapaan kuin musiikillisilla ääniärsykkeillä (esim. Chobert, Francois, Velay & Besson, 2014; Magne, Schön & Besson 2006; Moreno ym., 2009), mutta tässä tutkimuksessa interventoryhmät eivät poikenneet kontrolliryhmästä äänenkorkeuden erottelukyvyn suhteen.

Aiemmissa tutkimuksissa on osoitettu, että musiikki-interventiot, joissa lapsi osallistuu aktiivisesti musiikin soittamiseen, vaikuttavat lapsen kuulokykyihin tehokkaammin kuin passiivinen musiikin kuuntelu (esim. Trainor, Marie, Gerry, Whiskin, & Unrau, 2012). Tämän tutkimuksen musiikki-interventiossa perheiltä ei odotettu aktiivista osallistumista musiikkituokioihin, vaan musiikki saattoi soida taustalla vauvan touhutessa jotain muuta. Myös kielenoppimisen osalta on osoitettu, että alle vuoden ikäinen vauva ei opi vierasta kieltä ainoastaan passiivisesti kuulemalla puhetta, vaan oppiminen edellyttää, että fyysisesti läsnäoleva henkilö puhuu kieltä (Kuhl, 2003). Kielen ja musiikillisten taitojen oppiminen ovat sosiaalisia ilmiöitä, ja tämän tutkimuksen interventio ei kenties vaikuttanut hypoteesien mukaisella voimakkuudella vauvojen kuulokykyihin siksi, että siitä puuttui selkeä sosiaalinen elementti.

Lisäksi aiemmissa lukivaikeuteen kohdennetuissa interventioissa harjoittelu ei ole rakentunut pelkän kuuloaistin varaan, vaan niissä on harjoiteltu näön- ja kuulonvaraisen tiedon yhdistämistä (Kujala ym., 2001) tai monipuolisia musiikkitaitoja, joissa on yhdistetty soittamista ja liikkumista (Flaunacco ym., 2015; Habib ym., 2016). Voikin olla, että vaikuttaakseen tehokkaan kuntouttavasti musiikki-intervention tulisi pohjautua useamman aistin aktivointiin passiivisen kuuntelun sijaan. Aiemmin on osoitettu esimerkiksi, että pienet vauvat oppivat tunnistamaan kuulemansa rytmin muiden rytmien joukosta vain, jos heitä on liikuttettu sylissä hyppyyttämällä saman rytmin tahtiin, mutta he eivät opi ainoastaan kuuntelemaan rytmiä tai näkemällä toisen ihmisen liikkuvan rytmin tahtiin (Phillips-Silver & Trainor, 2005). Tämän tutkimuksen aineistossa pelkästään kuuloaistiin perustuva musiikki-

interventio ei mahdollisesti vaikuttanut kuuloerottelukykyihin niin voimakkaasti, että ryhmien välille olisi muodostunut selviä eroja kuuloerottelukyvyyssä.

4.4 Laulu- ja instrumentaalimusiikki-intervention erot

Yksi tämän tutkimuksen tutkimuskysymyksistä oli, eroavatko lauluryhmän ja instrumentaaliryhmän kuulokyvyt toisistaan. Missään tutkimuksen vertailuissa ei ilmennyt merkitsevää eroa lauluryhmän ja instrumentaaliryhmän välillä. Kuitenkin kahdessa tapauksessa instrumentaaliryhmä poikkesi kontrolliryhmästä, kun taas lauluryhmä ei poikennut kummastakaan ryhmästä. Ensinnäkin N2-vaste saavutti huippunsa kontrolliryhmässä aiemmin kuin instrumentaaliryhmässä, toiseksi MMR-vaste vokaalimuutokselle poikkesi ryhmien välillä siten, että instrumentaaliryhmässä vokaalinvaihdosta käsiteltiin voimakkaammin aivojen oikealla kuin vasemmalla puolella, kun taas muissa ryhmissä oikean ja vasemman puolen välillä ei ollut eroa. Näiden tulosten merkityksiä käsiteltiin tarkemmin edellisessä luvussa, ja ne voivat viitata esimerkiksi siihen suuntaan, että instrumentaali-interventio olisi vaikuttanut oikean aivopuoliskon erottelutarkkuutta edistävästi, kun taas laulettu interventio olisi vaikuttanut tasaisemmin molemmissa aivopuoliskoissa. Tulokset viittaavat siihen suuntaan, että instrumentaali-interventio on vaikuttanut eri tavalla kuin laulettu interventio, mutta koska interventioryhmien välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja, tarkempia johtopäätöksiä ei voida tehdä.

Interventioryhmien välisten erojen tulkinnassa täytyy huomioida myös, että musiikki-interventioiden välillä oli hieman eroja siinä, miten soittomäärät jakautuivat ryhmissä. Interventiomusiikin soittomäärät eivät poikenneet toisistaan interventioryhmien välillä tilastollisesti merkitsevällä tasolla, mutta soittomäärien jakauma poikkesi toisistaan ryhmien välillä. Instrumentaaliryhmässä soittomäärät olivat jakautuneet tasaisemmin normaali jakauman tyyppisesti, kun taas lauluryhmässä suuri osa perheistä oli kuunnellut musiikkia suhteellisen vähän ja harvat perheet olivat kuunnelleet musiikkia erityisen paljon. Joissakin perheissä interventiomusiikkia kuunneltiin paljon enemmän kuin viisi soittolistaa viikossa. Eniten musiikkia kuunnelleessa lauluryhmän perheessä soittokertoja oli tietokantaan tallentuneen tiedon mukaan jopa 464 kuuden kuukauden ajanjakson aikana, mikä on moninkertainen määrä verrattuna esimerkiksi kolme kertaa viikossa soittolistoja kuunnelleisiin. Soittomäärien tasaisempi jakautuminen instrumentaaliryhmän perheiden välillä voisi selittää osaltaan sitä, miksi intervention vaikutukset näyttäytyvät instrumentaaliryhmässä selvempinä kuin lauluryhmässä.

4.5 Kuulokykyjen yhteys esikielelliseen kehitykseen

Tässä tutkimuksessa toistuvan äänen synnyttämä N2-vaste pään pinnan keskiosissa oli voimakkuudelta sitä suurempi ja ajoitukseltaan sitä varhaisempi, mitä kehittyneemmiksi vanhempi arvioi vauvan esikielelliset kyvyt. Aiemmassa tutkimuksessa kuuden kuukauden iässä mitatun N2-vasteen voimakkuuden toistuvalla ei-kielelliselle ääniparille on havaittu olevan yhteydessä puheentuottoon kahden vuoden iässä (Cantiani ym., 2016), ja tämän tutkimuksen tulokset viittaavat samansuuntaisesti siihen, että N2-vasteen voimakkuus ja ajoitus ovat yhteydessä lapsen kielelliseen kehitykseen. Tämä tulos tukee myös edellä esitettyä ajatusta, että interventorioryhmissä havaittu voimistuminen erityisesti päänpinnan keskiosista mitatuissa N2-vasteissa heijastaisi musiikki-interventioon osallistuneiden vauvojen kuulokykyjen nopeampaa kehitystä. Toisaalta ryhmien välillä ei havaittu merkitseviä eroja Esikko-kyselyssä tai N2-vasteen voimakkuudessa, ja N2-vasteen latenssiero viittaa pikemminkin siihen suuntaan, että kontrolliryhmän kuulokyvyt olisivat kehittyneet nopeammin kuin instrumentaaliryhmän.

Esikko-kyselyn kokonaispistemäärä ei myöskään ollut tässä tutkimuksessa merkitsevässä yhteydessä muihin mitattuihin herätevasteiden ominaisuuksiin, vaikka aiemmissa tutkimuksissa vauvaiässä mitattujen MMR-vasteiden on havaittu olevan yhteydessä esikielelliseen kehitykseen kahden ja puolen vuoden, kolmen vuoden ja viiden vuoden iässä (Guttorm ym., 2005). Yhteys saattoi jäädä puuttumaan sen takia, että MMR-vasteissa oli vakioärsykkeiden vasteita enemmän yksilöiden välistä vaihtelua, sillä toistomäärät olivat MMR-vasteiden osalta paljon pienempiä kuin valioärsykkeiden osalta. Lisäksi vauvaikäisten esikielellisen kehityksen arviointi on haastavaa ja Esikko-kyselylläkin on rajoituksensa luotettavuuden suhteen.

Kuuden kuukauden iässä tehdyt arvioinnit eivät olleet Esikko-kyselyn normiaineistosta tehdyssä tutkimuksessa yhteydessä myöhempään kielelliseen kehitykseen eikä sitä voi näin ollen käyttää luotettavasti esimerkiksi kielellisen kehityksen häiriön tunnistamiseen (Laakso ym., 2011). Tämän tutkimuksen aineistossa ryhmien välillä ei havaittu eroja Esikko-kyselyn kokonaispistemäärässä tai missään osatekijöissä. Tutkimuksessa päädyttiin tarkastelemaan mitattujen vasteiden yhteyttä ainoastaan Esikko-kyselyn kokonaispistemäärään, sillä sen oletettiin kuvastavan vauvan esikielellisen kehityksen kokonaistilannetta. Aiemmissa perin-

nöllisen lukivaikeusriskin vaikutuksia varhaisen vauvaiän kuulokykyihin kartoittaneissa tutkimuksissa ei ole tiettävästi yhdistetty aivotutkimusnäyttöä Esikko-kyselyn kaltaisiin esikiehellisen kehityksen tutkimusmenetelmiin, joten tämä tutkimus tuo arvokasta lisätietoa siitä, minkälaisia kielellisen kehityksen piirteitä mitatut vasteet heijastavat.

4.6 Tutkimuksen luotettavuus ja haasteet

Tässä tutkimuksessa pyrittiin korkeaan luotettavuuteen valitsemalla tutkimusmenetelmät huolellisesti ja tasapainottamalla tutkittavat ryhmät toistensa suhteen mahdollisimman hyvin. Koska tutkimuksessa toteutettiin useita vertailuja samoilla ärsykkeillä eri kanava-alueiden ja eri ryhmien kesken, pyrittiin tyypin 1 virhettä kontrolloimaan käyttämällä monivertailuihin perustuvia menetelmiä ja Bonferroni-korjausta paritaisiin vertailuihin. Tutkittavat ryhmät tasapainotettiin iän, sukupuolen, äidin koulutusasteen ja vanhempien lukivaikeustaustan suhteen sekä ryhmäkokojen suhteen. Vanhempien lukivaikeustausta arvioitiin testaamalla tai aiemman lausunnon perusteella ja vauvat arvottiin pseudosatunnaisesti interventio- ja kontrolliryhmiin. Aineisto käsiteltiin mahdollisimman tarkasti niin, että EEG-aineistoon jäisi mahdollisimman vähän muista kuin tutkittavasta ilmiöstä aiheutuvaa vaihtelua. Vauvat, joilla ei aineiston esikäsittelyn jälkeen ollut ennalta sovittua määrää aineistoa (vähintään 50 ERP-jaksoa ärsyketyyppejä kohden), jätettiin tarkastelun ulkopuolelle. Mukaan valikoituneen aineiston jakaumia tarkasteltiin asianmukaisesti ja analyyseissä käytettiin jakaumien edellyttämiä menetelmiä.

Tämän tutkimuksen tulosten tulkintaa vasteiden lateralisaation osalta vaikeuttaa se mittaus-tilanteeseen liittyvä seikka, että tilan ahtauden vuoksi Jorvin sairaalassa mittaustilanteessa kaiutin oli lähempänä tutkittavien vauvojen vasenta kuin oikeaa korvaa, minkä seurauksena voidaan olettaa kuulotiedonkäsittelyn varhaisvaiheiden painottuvan oikealle kuuloaivokuorelle. Vasemman ja oikean pään pinnan alueen aktivaatiota ei voida yksiselitteisesti verrata keskenään, mutta ryhmien välisiin eroihin vasteiden jakautumisessa vasemman ja oikean pään pinnan alueen välillä virhelähteen ei pitäisi vaikuttaa. Toisaalta ERP-menetelmän spatiaalinen tarkkuus on varsin heikko eikä senkään vuoksi voida kovin tarkkaan sanoa, minkä aivojen osien minkäkinlaisesta toiminnasta pään pinnalta mitatut vasteet varsinkaan vauvaikäisillä aiheutuvat. Lisähaasteita tulkinnalle aiheuttaa vauvojen ERP-vasteiden yksilöiden välinen hajonta, jonka on todettu jo aiemmissa MMR-tutkimuksissa olevan huomattavaa

(esim. Kushnerenko ym., 2002b). ERP-vasteiden avulla voidaan tarkastella ainoastaan ryhmätason ilmiöitä, ja suuri yksilöidenvälinen vaihtelu voi vaikeuttaa ryhmien välisten erojen tulkintaa. Aiemmassa tutkimuksessa on esitetty, että esimerkiksi pienten lasten ERP-vasteiden yksilölliset napaisuuserot voivat ilmentää tärkeää biologista vaihtelua yksilöiden välillä (Rivera-Gaxiola ym., 2007). Tässä tutkimuksessa mielenkiinnon kohteena olivat kuitenkin nimenomaan interventioon osallistuneiden ryhmien erot verrattuna kontrolliryhmään, joten yksilöiden välistä vaihtelua ei tutkittu tarkemmin.

Mitatussa EEG-aineistossa ilmeni myös häiriötekijöitä johtuen lähinnä siitä, että puolen vuoden ikäiset vauvat olivat mittaustilanteessa hereillä ja istuivat vanhempansa sylissä liikkuen ajoitellen paljonkin. Esimerkiksi lihastoiminnan aiheuttaman sähköisen aktiivisuuden johdosta EEG-aineistoa jouduttiin karsimaan paikoitellen paljonkin ja tämä rajoitti otoskokoa niin tutkittavien kuin erilaisten ärsyketyyppien aiheuttamien vasteiden osalta. Tähän tutkimukseen valittiin mukaan ne vauvat, joilla aineiston esikäsittelyn jälkeen oli vähintään 50 ERP-jaksoa jokaista ärsyketyyppiä kohti, mikä on suhteellisen pieni määrä. Jotta ärsykkeiden aiheuttamat vasteet saataisiin mahdollisimman hyvin erotettua kaikesta muusta sähköisestä aktivaatiosta, tulisi keskiarvojen laskemisessa käytettävien vasteiden lukumäärä olla mahdollisimman suuri. Toisaalta jos vaadittu ERP-jaksojen määrä olisi määritelty korkeammaksi, tutkimuksen ryhmäkoot olisivat pienentyneet huomattavasti.

Lisäksi yksi mahdollinen yksilöiden välisen vaihtelunlähde mittauksessa on se, että vauvoilla ei ole tässä vaiheessa luonnollisestikaan voitu vielä todeta varsinaista lukivaikeutta vaan he kuuluvat lukivaikeuden riskiryhmään, jossa kaikki eivät suinkaan tule myöhemminään saamaan lukivaikeusdiagnoosia. Arviot lukivaikeuden periytyvyydestä vaihtelevat 30 – 70 %:n välillä, joten tämän tutkimuksen aineistostakin enintään 70 % vauvoista kuuluu siihen joukkoon, jolla todettaisiin myöhemmässä kehitysvaiheessa lukivaikeus. Tämän tutkimuksen aineistosta on tässä vaiheessa myös mahdotonta sanoa, ovatko aidosti kielellisen kehityksen häiriöitä oireilevat vauvat jakautuneet tasaisesti tässä tutkimuksessa käytettyihin kolmeen satunnaistettuun ryhmään. Lisäksi on esitetty, ettei lukivaikeuteen liity kaikilla yksilöillä puutteita kuulokyvyissä (Ramus, 2003), mikä lisäisi entisestään hajontaa yksilöiden välillä tutkittaessa lukivaikeuden yhteyttä kuulokykyihin. Näiden tekijöiden ei pitäisi kuitenkaan juurikaan vaikuttaa interventiotuloksiin, sillä vauvat jaettiin ryhmiin satunnaistusti.

Musiikki-intervention vaikutuksien arviointia hankaloitti tässä tutkimuksessa se, että interventio ei toteutunut kaikissa perheissä suunnitellussa laajuudessaan, jossa vauvat kuulisivat interventiomusiikkia vähintään viisi soittolistaa, eli 100 minuuttia viikossa. Riittävien otoskokojen turvaamiseksi tutkimukseen otettiin mukaan myös perheitä, jotka raportoivat kuunnelleensa musiikkia vähintään tunnin viikossa. Vaikeuksia intervention vaikutusten analysointiin aiheuttivat myös soittokertojen rekisteröintiin liittyvät ongelmat tarkoitukseen käytetyllä internetsivustolla. Intervention kuluessa havaittiin, että kaikki soittokerrat eivät olleet tallentuneet niistä kerättyyn tietokantaan, joten soittokertojen määriä ei voitu arvioida luotettavasti pelkästään tietokantaan tallentuneiden tietojen perusteella. Interventiomusiikin soittomäärät vaihtelivat interventioperheissä huomattavasti, minkä voi olettaa tuovan lisävaihtelua intervention vaikutuksiin. Lisäksi perheiden välinen vaihtelu musikaalisissa mieltymyksissä ja harrastuneisuudessa näkyy luultavasti myös kontrolliryhmän perheiden äänimaailmassa siten, että joissakin kontrolliryhmään kuuluneissa perheissä musiikkia on voitu kuunnella interventioaikana varsin paljonkin. Yksi mielenkiintoinen jatkotutkimuksen aihe onkin, vaikuttavatko perheen arkielämän äänimaailma tai esimerkiksi musiikkileikkikoulu- tai tanssiharrastus lukivaikeusriskisten vauvojen kuulokykyjen kehitykseen.

Tämän tutkimuksen puitteissa ei verrattu lukivaikeuden riskiryhmään kuuluvien vauvojen kuulokykyjä sellaisten vauvojen kuulokykyihin, joilla ei ole perinnöllistä riskiä lukivaikeudelle. Toisaalta ei myöskään verrattu kuulokykyjen kehittymistä suhteessa vastasyntyneenä tehtyihin mittauksiin, sillä otoskoot olisivat jääneet pieniksi, jos mukaan olisi otettu vain ne vauvat, joilla oli riittävästi hyvänlaatuista aineistoa molemmissa mittauksissa. Siksi päätelmien tekeminen siitä, viittaavatko erot interventio- ja kontrollivauvojen kuulokyvyissä aidosti merkittävään kehitykseen intervention myötä, on haastavaa. Toisaalta myös vastasyntyneiden ja puolen vuoden ikäisten vauvojen vasteiden vertailu on haastavaa, sillä vasteiden muoto muuttuu paljon ensimmäisten kuukausien aikana. Jatkossa kaivataan tutkimusta, jossa analyysieihin otetaan mukaan enemmän erilaisia vertailtavia ja kontrolloitavia tekijöitä, ja Lukivauva-hanke, jonka osana tämäkin tutkimus toteutettiin, mahdollistaa tulevaisuudessa tällaisten tutkimusten teon. Lisäksi pitkittäistutkimus mahdollistaa esikielellisen kehityksen seurannan myös myöhemmissä ikävaiheissa, jolloin saadaan lisätietoa esimerkiksi siitä, minkälaisia kielellisen kehityksen tekijöitä kuuden kuukauden iässä mitattujen vasteiden ja kyselyllä arvioidun esikielellisen kehityksen tasolla voidaan mahdollisesti ennustaa.

4.7 Yhteenveto

Yhteenvetona voidaan todeta, että musiikki-interventio näyttää vaikuttaneen lukivaikeuden riskiryhmään kuuluvien vauvojen kuulokykyjä jossain määrin edistävasti, mutta tämänsuuntaisten johtopäätösten perustelut ovat varsin heikkoja, sillä tilastollisesti merkitseviä eroja ryhmien välillä ei löytynyt minkään vasteen voimakkuudessa millään tutkitulla kanava-alueella. Ero ryhmien välillä ilmeni siten, että musiikki-interventioihin osallistuneet vauvat käsitelivät toistuvaan vakioääneen liittyvää tietoa kontrolliryhmää tehokkaammin tasaisesti aivojen eri osissa. Toisaalta kontrolliryhmässä toistuvan vakioäänen käsittely oli instrumentaalimusiikkia kuunnellutta interventioryhmää nopeampaa, mikä viittaa siihen suuntaan, että instrumentaalimusiikkiin pohjautuva interventio on voinut jopa hidastaa puhetiedon käsittelyyn liittyvää kehitystä. Toistuvan äänen käsittelyyn liittyvien vasteiden havaittiin olevan yhteydessä vanhempien arvioihin vauvansa esikielellisestä kehityksestä siten, että vauvoilla, joilla vasteet ilmensivät pidemmälle kehittyneitä kuulokykyjä, myös vanhempien arvio esikielellisestä kehityksestä oli korkeammalla tasolla. Lisäksi instrumentaalimusiikkia kuunnellut ryhmä käsittelee vokaalin vaihdokseen liittyvää kuulotietoa tehokkaammin oikealla kuin vasemmalla puolella päätä, mikä viittaa siihen, että instrumentaalisen musiikin kuuntelu voisi voimistaa lukivaikeuteen liittyvää taipumusta kompensoida vasemman aivopuoliskon puutteellista toimintaa oikean aivopuoliskon vastaavien alueiden aktivaatiolla. Tämän tutkimuksen perusteella näyttää siltä, että musiikki-interventiot ovat vaikuttaneet vauvojen hermoverkkoihin siten, että kuulotiedon käsittely painottuu eri osiin aivoissa.

Aiemmin ei ole tiettävästi tutkittu, miten suhteellisen pitkäkestoinen, varhainen musiikki-interventio vaikuttaa lukivaikeuden riskiryhmään kuuluvien vauvojen kuulokykyihin. Aiemmissa lukivaikeuden riskiryhmään kuuluvien vauvojen tutkimuksissa ei tiettävästi ole myöskään tutkittu kuulokykyjen yhteyttä esikielelliseen kehitykseen näin varhaisessa vaiheessa. Tämä tutkimus antaa arvokasta tietoa siitä, voiko varhainen, passiivinen musiikki-interventio vaikuttaa varhaista kuulotiedon käsittelyä edistävasti ja miten kuulotiedon käsittely on toisaalta sidoksissa vauvan kielelliseen kehitykseen. Tämän tutkimuksen tulokset asettuvat osaksi aiempien tutkimusten jatkumoa, jossa pyritään tunnistamaan perinnöllisen lukivaikeusriskiin liittyviä kuulokykyjen poikkeamia ja kehittämään menetelmiä kuulokykyjen kuntouttamiseen mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. Tutkimus tarjoaa suuntaviivoja siihen, millaisilla interventioilla lukivaikeuden riskiryhmään kuuluvien vauvojen kuulokykyjen puutteita voitaisiin jatkossa pyrkiä kuntouttamaan.

Lähteet

- Alho, K., Sainio, K., Sajaniemi, N., Reinikainen, K., & Näätänen, R. (1990). Event-related brain potential of human newborns to pitch change of an acoustic stimulus. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 77, 151–155. [http://doi.org/10.1016/0168-5597\(90\)90031-8](http://doi.org/10.1016/0168-5597(90)90031-8)
- Baldeweg, T., Richardson, A., Watkins, S., Foale, C., & Gruzelier, G. (1999). Impaired auditory frequency discrimination in dyslexia detected with mismatch evoked potentials. *Annals of Neurology*, 45, 495–503. [http://doi.org/10.1002/1531-8249\(199904\)45](http://doi.org/10.1002/1531-8249(199904)45)
- Benasich, A. A., Choudhury, N., Friedman, J. T., Realpe-Bonilla, T., Chojnowska, C., & Gou, Z. (2006). The infant as a prelinguistic model for language learning impairments: Predicting from event-related potentials to behavior. *Neuropsychologia*, 44, 396–411. <http://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2005.06.004>
- Bishop, D. V. M. (2007). Using mismatch negativity to study central auditory processing in developmental language and literacy impairments: Where are we, and where should we be going? *Psychological Bulletin*, 133, 651–672. <http://doi.org/10.1037/0033-2909.133.4.651>
- Bruder, J., Leppänen, P. H. T., Bartling, J., Csépe, V., Démonet, J. F., & Schulte-Körne, G. (2011). Children with dyslexia reveal abnormal native language representations: Evidence from a study of mismatch negativity. *Psychophysiology*, 48, 1107–1118. <http://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2011.01179.x>
- Cantiani, C., Riva, V., Piazza, C., Bettoni, R., Molteni, M., Choudhury, N., ... Benasich, A. A. (2016). Auditory discrimination predicts linguistic outcome in Italian infants with and without familial risk for language learning impairment. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 20, 23–34. <http://doi.org/10.1016/j.dcn.2016.03.002>
- Carral, V., Huottilainen, M., Ruusuvirta, T., Fellman, V., Näätänen, R., & Escera, C. (2005). A kind of auditory “primitive intelligence” already present at birth. *European Journal of Neuroscience*, 21, 3201–3204. <http://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2005.04144.x>
- Čeponienė, R., Rinne, T., & Näätänen, R. (2002). Maturation of cortical sound processing as indexed by event-related potentials. *Clinical Neurophysiology*, 113, 870–882.
- Čeponienė, R., Torki, M., Alku, P., Koyama, A., & Townsend, J. (2008). Event-related potentials reflect spectral differences in speech and non-speech stimuli in children and adults. *Clinical Neurophysiology*, 119, 1560–1577. <http://doi.org/10.1016/j.clinph.2008.03.005>
- Chapman, J., Tunmer, W. E., & Prochnow, J. (2000). Early Reading-Related Skills and Performance, Reading Self-Concept, and the Development of Academic Self-Concept : : A Longitudinal Study. *Journal of Educational Psychology*, 92, 703–708. <http://doi.org/10.1037/0022-0663.92.4.703>
- Cheour, M., Čeponienė, R., Lehtokoski, A., Luuk, A., Allik, J., Ahlo, K., & Naatanen, R. (1998). Development of language-specific phoneme representations in the infant brain. *Nature Neuroscience*, 1, 351–353. <http://doi.org/10.1038/1561>
- Cheour, M., Leppänen, P. H. T., & Kraus, N. (2000). Mismatch negativity (MMN) as a tool for investigating auditory discrimination and sensory memory in infants and children. *Clinical Neurophysiology*, 111, 4–16. [http://doi.org/10.1016/S1388-2457\(99\)00191-1](http://doi.org/10.1016/S1388-2457(99)00191-1)
- Chobert, J., François, C., Velay, J. L., & Besson, M. (2014). Twelve months of active musical training in 8-to 10-year-old children enhances the preattentive processing of syllabic duration and voice onset time. *Cerebral Cortex*, 24, 956–967. <http://doi.org/10.1093/cercor/bhs377>
- Chobert J, Marie C, François C, Schön D, B. M. (2011). Enhanced passive and active

- processing of syllables in musician children. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23, 3874–3887.
- Choudhury, N., & Benasich, A. A. (2010). Maturation of auditory evoked potentials from 6 to 48 months: Prediction to 3 and 4 year language and cognitive abilities to 3 and 4 year language and cognitive abilities. *Clinical Neurophysiology*. <http://doi.org/10.1016/j.clinph.2010.05.035>
- Coltheart, M. (2000). Deep dyslexia is right-hemisphere reading. *Brain and Language*, 71, 299–309. <http://doi.org/10.1006/brln.1999.2183>
- Darki, F., Matsson, H., Kere, J., & Klingberg, T. (2012). Three dyslexia susceptibility genes, DYX1C1, DCDC2, and KIAA0319, affect temporo-parietal white matter structure. *Biological Psychiatry*, 72, 671–676. <http://doi.org/10.1016/j.biopsych.2012.05.008>
- Fisher, S. E., & Defries, J. C. (2002). Developmental dyslexia: Genetic dissection of a complex cognitive trait. *Nature Reviews Neuroscience*, 3, 767–780. <http://doi.org/10.1038/nrn936>
- Flaugnacco, E., Lopez, L., Terribili, C., Montico, M., Zoia, S., Schön, D. (2015). Music training increases phonological awareness and reading skills in developmental dyslexia: a randomized control trial. *PLoS One*, 10, e0138715. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0138715>
- Gaab, N., Gabrieli, J. D. E., Deutsch, G. K., Tallal, P., & Temple, E. (2007). Neural correlates of rapid auditory processing are disrupted in children with developmental dyslexia and ameliorated with training: an fMRI study. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 25, 295–310. <http://doi.org/10.1016/j.neuro.2007.07.007>
- Gabrieli, J. D. (2009). Dyslexia: a new synergy between education and cognitive neuroscience. *Science*, 325, 280–283. <http://doi.org/10.1126/science.1171999>
- Galaburda, A. M. (1999). Developmental dyslexia: a multilevel syndrome. *Dyslexia*, 5, 183–191. [http://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-0909\(199912\)5:4<183::AID-DYS147>3.0.CO;2-C](http://doi.org/10.1002/(SICI)1099-0909(199912)5:4<183::AID-DYS147>3.0.CO;2-C)
- Giraud, A., & Ramus, F. (2013). Neurogenetics and auditory processing in developmental dyslexia. *Current Opinion in Neurobiology*, 23, 37–42. <http://doi.org/10.1016/j.conb.2012.09.003>
- Guttorm, T. K., Leppanen, P. H. T., Hämäläinen, J. A., Eklund, K. M., & Lyytinen, H. J. (2010). Newborn event-related potentials predict poorer pre-reading skills in children at risk for dyslexia. *Journal of Learning Disabilities*, 43, 391–401. <http://doi.org/10.1177/0022219409345005>
- Guttorm, T. K., Leppänen, P. H. T., Poikkeus, A.-M., Eklund, K. M., Lyytinen, P., & Lyytinen, H. (2005). Brain event-related potentials (ERPs) measures at birth predict later language development in children with and without familial risk for dyslexia. *Cortex*, 41, 291–303.
- Habib, M., Lardy, C., Desiles, T., Commeiras, C., Chobert, J., & Besson, M. (2016). Music and dyslexia: a new musical training method to improve reading and related disorders. *Frontiers in Psychology*, 7, 1-15 . <http://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00026>
- Háden, G. P., Németh, R., Török, M., & Winkler, I. (2016). Mismatch response (MMR) in neonates: Beyond refractoriness. *Biological Psychology*, 117, 26–31. <http://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2016.02.004>
- Hannon, E. E., & Trainor, L. J. (2007). Music acquisition: effects of enculturation and formal training on development. *Trends in Cognitive Sciences*, 11, 466–472. <http://doi.org/10.1016/j.tics.2007.08.008>
- Hari, R., Renvall, H., & Tanskanen, T. (2001). Left minineglect in dyslexic adults. *Brain*, 124, 1373–1380.
- Huss, M., Verney, J. P., Fosker, T., Mead, N., & Goswami, U. (2011). Music, rhythm, rise

- time perception and developmental dyslexia: Perception of musical meter predicts reading and phonology. *Cortex*, 47, 674–689. <http://doi.org/10.1016/j.cortex.2010.07.010>
- Hämäläinen, J. A., Salminen, H. K., & Leppänen, P. H. T. (2013). Basic auditory processing deficits in dyslexia: systematic review of the behavioral and event-related potential/field evidence. *Journal of Learning Disabilities*, 46, 413–427. <http://doi.org/10.1177/0022219411436213>
- Jing, H., & Benasich, A. A. (2006). Brain responses to tonal changes in the first two years of life. *Brain and Development*, 28, 247–256. <http://doi.org/10.1016/j.braindev.2005.09.002>
- Kere, J. (2014). The molecular genetics and neurobiology of developmental dyslexia as model of a complex phenotype. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 452, 236–243. <http://doi.org/10.1016/j.bbrc.2014.07.102>
- Kotilahti, K., Nissilä, I., Näsi, T., Lipiäinen, L., Noponen, T., Meriläinen, P., Huotilainen, M., & Fellman, V. (2010). Hemodynamic responses to speech and music in newborn infants. *Human Brain Mapping*, 31, 595–603. <http://doi.org/10.1002/hbm.20890>
- Kraus, N., & Chandrasekaran, B. (2010). Music training for the development of auditory skills. *Nature Reviews. Neuroscience*, 11, 599–605. <http://dx.doi.org/10.1038/nrn2882>
- Kuhl, P. K. (2003). Human speech and birdsong: communication and the social brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100, 9645–9646. <http://doi.org/10.1073/pnas.1733998100>
- Kuhl, P. K. (2004). Early language acquisition: cracking the speech code. *Nature Reviews Neuroscience*, 5, 831–483. <http://doi.org/10.1038/nrn1533>
- Kujala, T. (2007). The role of early auditory discrimination deficits in language disorders. *Journal of Psychophysiology*, 21, 239–250. <http://doi.org/10.1027/0269-8803.21.34.239>
- Kujala, T., Belitz, S., Tervaniemi, M., & Näätänen, R. (2003). Auditory sensory memory disorder in dyslexic adults as indexed by the mismatch negativity. *European Journal of Neuroscience*, 17, 1323–1327. <http://doi.org/10.1046/j.1460-9568.2003.02559.x>
- Kujala, T., Karma, K., Ceponienė, R., Belitz, S., Turkila, P., Tervaniemi, M., & Näätänen, R. (2001). Plastic neural changes and reading improvement caused by audiovisual training in reading-impaired children. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98, 10509–10514. <http://doi.org/10.1073/pnas.181589198>
- Kushnerenko, E., Ceponienė, R., Balan, P., Fellman, V., Huotilainen, M., & Näätänen, R. (2002a). Maturation of the auditory event-related potentials during the first year of life. *Cognitive Neuroscience and Neuropsychology Neuroreport*, 13, 47–51.
- Kushnerenko, E., Ceponienė, R., Balan, P., Fellman, V., & Näätänen, R. (2002b). Maturation of the auditory change detection response in infants: a longitudinal ERP study. *NeuroReport*, 13, 1843–1848. <http://doi.org/10.1097/00001756-200210280-00002>
- Kushnerenko, E. V., Van den Bergh, B. R. H., & Winkler, I. (2013). Separating acoustic deviance from novelty during the first year of life: A review of event-related potential evidence. *Frontiers in Psychology*, 4, 1–16. <http://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00595>
- Laasonen, M., Salomaa, J., Cousineau, D., Leppämäki, S., Tani, P., Hokkanen, L., & Dye, M. (2012). Project DyAdd: Visual attention in adult dyslexia and ADHD. *Brain and Cognition*, 80, 311–327. <http://doi.org/10.1016/j.bandc.2012.08.002>
- Leppänen, P. H. T., Eklund, K. M., & Lyytinen, H. (1997). Event-related brain potentials to change in rapidly presented acoustic stimuli in newborns. *Developmental Neuropsychology*, 13, 175–204. <http://doi.org/10.1080/87565649709540677>
- Leppänen, P. H. T., Hämäläinen, J. A., Guttorm, T. K., Eklund, K. M., Salminen, H.,

- Tanskanen, A., Torppa, M., Puolakanaho, A., Richardson, U., Pennala, R. & Lyytinen, H. (2012). Infant brain responses associated with reading-related skills before school and at school age. *Clinical Neurophysiology*, 42, 35–41. <http://doi.org/10.1016/j.neucli.2011.08.005>
- Leppänen, P. H. T., Pihko, E., Eklund, K. M., & Lyytinen, H. J. (1999). Cortical responses of infants with and without a genetic risk for dyslexia: II. Group effects. *Neuroreport*, 10, 969–73. <http://doi.org/10.1097/00001756-199904060-00002>
- Leppänen, P. H. T., Richardson, U., Pihko, E., Eklund, K. M., Guttorm, T. K., Aro, M., & Lyytinen, H. (2002a). Brain responses to changes in speech sound durations differ between infants with and without familial risk for dyslexia. *Developmental Neuropsychology*, 22, 407–422. <http://doi.org/10.1207/S15326942dn2201>
- Leppänen, P. H. T., Richardson, U., Pihko, E., Eklund, K. M., Guttorm, T. K., Aro, M., & Lyytinen, H. (2002b). Brain responses to changes in speech sound durations differ between infants with and without familial risk for dyslexia. *Developmental Neuropsychology*, 22, 407–422. <http://doi.org/10.1207/S15326942dn2201>
- Lovio, R., Halttunen, A., Lyytinen, H., Näätänen, R., & Kujala, T. (2012). Reading skill and neural processing accuracy improvement after a 3-hour intervention in preschoolers with difficulties in reading-related skills. *Brain Research*, 1448, 42–55. <http://doi.org/10.1016/j.brainres.2012.01.071>
- Lovio, R., Näätänen, R., & Kujala, T. (2010). Abnormal pattern of cortical speech feature discrimination in 6-year-old children at risk for dyslexia. *Brain Research*, 1335, 53–62. <http://doi.org/10.1016/j.brainres.2010.03.097>
- Luck, S. J. (2014). An introduction to the event-related potential technique, second edition. Massachusetts: The MIT Press.
- Lyytinen, P., Poikkeus, A., Laakso, M.-L., Eklund, K., & Lyytinen, H. (2001). Language development and symbolic play in children with and without familial risk for dyslexia. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 44, 873–885.
- Magne, C., Schön, D., & Besson, M. (2006). Musician children detect pitch violations in both music and language better than nonmusician children: behavioral and electrophysiological approaches. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18, 199–211. <http://doi.org/10.1162/jocn.2006.18.2.199>
- Maurer, U., Bucher, K., Brem, S., & Brandeis, D. (2003). Altered responses to tone and phoneme mismatch in kindergartners at familial dyslexia risk. *Neuroreport*, 14, 5–10. <http://doi.org/10.1097/01.wnr.0000096518.69073.a7>
- May, P. J. C., & Tiitinen, H. (2010). Mismatch negativity (MMN), the deviance-elicited auditory deflection, explained. *Psychophysiology*, 47, 66–122. <http://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2009.00856.x>
- Molfese, D. L. (2000). Predicting dyslexia at 8 years of age using neonatal brain responses. *Brain and Language*, 72, 238–45. <http://doi.org/10.1006/brln.2000.2287>
- Moreno, S., Marques, C., Santos, A., Santos, M., Castro, S. L., & Besson, M. (2009). Musical training influences linguistic abilities in 8-year-old children: More evidence for brain plasticity. *Cerebral Cortex*, 19, 712–723. <http://doi.org/10.1093/cercor/bhn120>
- Morr, M. L., Shafer, V. L., Kreuzer, J. A., & Kurtzberg, D. (2002). Maturation of mismatch negativity in typically developing infants and preschool children. *Ear & Hearing*, 23, 118–136.
- Nakata, T., & Trehub, S. E. (2004). Infants' responsiveness to maternal speech and singing. *Infant Behavior and Development*, 27, 455–464. <http://doi.org/10.1016/j.infbeh.2004.03.002>
- Nevala, J., Kairaluoma, L., Ahonen, T., Aro, M., & Holopainen, L. (2006). *Lukemis- ja*

- kirjoittamistaitojen yksilötestistö nuorille ja aikuisille*. Jyväskylä: Niilo Mäki Instituutti.
- Näätänen, R., Gaillard, A. W. K., & Mäntysalo, S. (1978). Early selective-attention effect on evoked potential reinterpreted. *Acta Psychologica*, 42, 313–329. [http://doi.org/10.1016/0001-6918\(78\)90006-9](http://doi.org/10.1016/0001-6918(78)90006-9)
- Näätänen, R., Jacobsen, T., & Winkler, I. (2005). Memory-based or afferent processes in mismatch negativity (MMN): a review of the evidence. *Psychophysiology*, 42, 25–32. <http://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2005.00256.x>
- Näätänen, R., Kujala, T., & Winkler, I. (2011). Auditory processing that leads to conscious perception: a unique window to central auditory processing opened by the mismatch negativity and related responses. *Psychophysiology*, 48, 4–22. <http://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2010.01114.x>
- Näätänen, R., Paavilainen, P., Rinne, T., & Alho, K. (2007). The mismatch negativity (MMN) in basic research of central auditory processing: A review. *Clinical Neurophysiology*, 118, 2544–2590. <http://doi.org/10.1016/j.clinph.2007.04.026>
- Näätänen, R., Pakarinen, S., Rinne, T., & Takegata, R. (2004). The mismatch negativity (MMN): towards the optimal paradigm. *Clinical Neurophysiology*, 115, 140–144. <http://doi.org/10.1016/j.clinph.2003.04.001>
- Näätänen, R., & Winkler, I. (1999). The Concept of Auditory Stimulus Representation in Cognitive Neuroscience. *Psychological Bulletin*, 125, 862–859.
- Overy, K. (2003). Dyslexia and Music. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 999, 497–505. <http://doi.org/10.1196/annals.1284.060>
- Ozernov-Palchik, O., & Gaab, N. (2016). Tackling the Early Identification of Dyslexia with the Help of Neuroimaging. *Perspectives on Language and Literacy*, 11–17.
- Paavilainen, P. (2013). The mismatch-negativity (MMN) component of the auditory event-related potential to violations of abstract regularities: A review. *International Journal of Psychophysiology*, 88, 109–123. <http://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2013.03.015>
- Pakarinen, S., Sokka, L., Leinikka, M., Henelius, A., Korpela, J., & Huotilainen, M. (2014). Fast determination of MMN and P3a responses to linguistically and emotionally relevant changes in pseudoword stimuli. *Neuroscience Letters*, 577, 28–33. <http://doi.org/10.1016/j.neulet.2014.06.004>
- Pang, E. W., Edmonds, G. E., Desjardins, R., Khan, S. C., Trainor, L. J., & Taylor, M. J. (1998). Mismatch negativity to speech stimuli in 8-month-old infants and adults. *International Journal of Psychophysiology*, 29, 227–236. [http://doi.org/10.1016/S0167-8760\(98\)00018-X](http://doi.org/10.1016/S0167-8760(98)00018-X)
- Partanen, E., Kujala, T., Tervaniemi, M., & Huotilainen, M. (2013). Prenatal music exposure induces long-term neural effects. *PloS One*, 8, 1–6. e78946. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0078946>
- Partanen, E., Pakarinen, S., Kujala, T., & Huotilainen, M. (2013). Infants' brain responses for speech sound changes in fast multifeature MMN paradigm. *Clinical Neurophysiology*, 124, 1578–1585. <http://doi.org/10.1016/j.clinph.2013.02.014>
- Patel, A. D. (2014). Can nonlinguistic musical training change the way the brain processes speech? The expanded OPERA hypothesis. *Hearing Research*, 308, 98–108. <http://doi.org/10.1016/j.heares.2013.08.011>
- Phillips-Silver, J., & Trainor, L. J. (2005). Feeling the beat: Movement influences infant rhythm perception. *Science*, 308, 1430.
- Pihko, E., Leppänen, P. H. T., Eklund, K. M., Cheour, M., Guttorm, T. K., & Lyytinen, H. J. (1999). Cortical responses of infants with and without a genetic risk for dyslexia: I. Age effects. *Neuroreport*, 10, 901–905. <http://doi.org/10.1097/00001756-199904060-00002>

- Ponton, C. W., Eggermont, J. J., Kwong, B., & Don, M. (2000). Maturation of human central auditory system activity: Evidence from multi-channel evoked potentials. *Clinical Neurophysiology*, 111, 220–236. [http://doi.org/10.1016/S1388-2457\(99\)00236-9](http://doi.org/10.1016/S1388-2457(99)00236-9)
- Pugh, K. R., Mencl, W. E., Jenner, A. R., Katz, L., Frost, S. J., Lee, J. R., Shaywitz, S. E. & Shaywitz, B. A. (2000). Functional neuroimaging studies of reading and reading disability (developmental dyslexia). *Mental Retardation and Developmental Disabilities Research Reviews*, 6, 207–213.
- Puolakanaho, A., Ahonen, T., Aro, M., Eklund, K., Leppänen, P. H. T., Poikkeus, A., Tolvanen, A., Torppa, M., Lyytinen, H. (2007). Very early phonological and language skills: Estimating individual risk of reading disability. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 48, 923–931. <http://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2007.01763.x>
- Ramus, F. (2003). Developmental dyslexia: Specific phonological deficit or general sensorimotor dysfunction? *Current Opinion in Neurobiology*, 13, 212–218. [http://doi.org/10.1016/S0959-4388\(03\)00035-7](http://doi.org/10.1016/S0959-4388(03)00035-7)
- Ramus, F. (2004). Neurobiology of dyslexia: A reinterpretation of the data. *Trends in Neurosciences*, 27(12), 720–726. <http://doi.org/10.1016/j.tins.2004.10.004>
- Renvall, H., & Hari, R. (2002). Auditory cortical responses to speech-like stimuli in dyslexic adults. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14, 757–768. <http://doi.org/10.1162/08989290260138654>
- Renvall, H., & Hari, R. (2003). Diminished auditory mismatch fields in dyslexic adults. *Annals of Neurology*, 53, 551–557.
- Richardson, U., Lyytinen, H. (2014). The Graphogame method: the theoretical and methodological background of the technology-enhanced learning environment for learning to read. *Human Technology - An Interdisciplinary Journal on Humans in ICT Environments*, 10, 39–60. <http://doi.org/10.17011/ht/urn.201405281859>
- Richardson, U., Leppänen, P. H. T., Leiwo, M., & Lyytinen, H. (2003). Speech perception of infants with high familial risk for dyslexia differ at the age of 6 months. *Developmental Neuropsychology*, 23, 385–397. http://doi.org/10.1207/S15326942DN2303_5
- Rivera-Gaxiola, M., Silva-Pereyra, J., Klarman, L., Garcia-Gierra, A., Lara-Ayala, L., Cadena-Salazar, C., & Kuhl, P. (2007). Principal component analyses and scalp distribution of the auditory P150-250 and N250-550 to speech contrasts in Mexican and American infants. *Developmental Neuropsychology*, 31, 363–378.
- Rolka, E. J., & Silverman, M. J. (2015). A systematic review of music and dyslexia. *The Arts in Psychotherapy*, 46, 24–32. <http://doi.org/10.1016/j.aip.2015.09.002>
- Rutter, M., Caspi, A., Fergusson, D. M., Horwood, L. J., Goodman, R., Maughan, B., Moffitt, T. E., Carroll, J. M. (2004). Sex differences in developmental reading disability. *Journal of the American Medical Association*, 291, 2007–2012. <http://doi.org/10.1001/jama.291.16.2007>
- Santos, A., Joly-Pottuz, B., Moreno, S., Habib, M., & Besson, M. (2007). Behavioural and event-related potentials evidence for pitch discrimination deficits in dyslexic children: Improvement after intensive phonic intervention. *Neuropsychologia*, 45, 1080–1090. <http://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.09.010>
- Scerri, Thomas S.; Schulte-Körne, G. (2010). Genetics of developmental dyslexia. *European Child and Adolescent Psychiatry*, 19, 179–197. <http://doi.org/10.1007/s00787-009-0081-0>
- Scherg, M., Vajsaar, J., & Picton, T. W. (1989). A Source Analysis of the Late Human Auditory Evoked Potentials. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 1, 336–355.
- Schröger, E., & Wolff, C. (1998). Attentional orienting and reorienting is indicated by human event-related brain potentials. *Cognitive Neuroscience*, 9, 3355–3358.

- Schulte-Körne, G., Deimel, W., Bartling, J., & Remschmidt, H. (1998). Auditory processing and dyslexia: Evidence for a specific speech. *NeuroReport*, 9, 337–340.
- Shahin, A., Roberts, L. E., & Trainor, L. J. (2004). Enhancement of auditory cortical development by musical experience in children. *Neuroreport*, 15, 1917–1921. <http://doi.org/10.1097/00001756-200408260-00017>
- Snowling, M. J. (2013). Early identification and interventions for dyslexia: a contemporary view. *Journal of Research in Special Education Needs*, 13, 7–14. <http://doi.org/10.1111/j.1471-3802.2012.01262.x>
- Tervaniemi, M., Kujala, A., Alho, K., Virtanen, J., Ilmoniemi, R. J., & Näätänen, R. (1999). Functional specialization of the human auditory cortex in processing phonetic and musical sounds : a magnetoencephalographic (MEG) study. *NeuroImage*, 9, 330–336. <http://doi.org/10.1006/nimg.1999.0405>
- Trainor, L. J., Marie, C., Gerry, D., Whiskin, E., & Unrau, A. (2012). Becoming musically enculturated: Effects of music classes for infants on brain and behavior. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1252, 129–138. <http://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2012.06462.x>
- Trainor, L. J., Samuel, S. S., Desjardins, R. N., & Sonnadara, R. (2001). Measuring temporal resolution in infants using mismatch negativity. *NeuroReport*, 12, 2443–2448. <http://doi.org/10.1097/00001756-200108080-00031>
- Trainor, L., McFadden, M., Hodgson, L., Darragh, L., Barlow, J., Matsos, L., & Sonnadara, R. (2003). Changes in auditory cortex and the development of mismatch negativity between 2 and 6 months of age. *International Journal of Psychophysiology*, 51, 5–15. [http://doi.org/10.1016/S0167-8760\(03\)00148-X](http://doi.org/10.1016/S0167-8760(03)00148-X)
- van Herten, M., Pasman, J., van Leeuwen, T. H. Van, Been, P. H., van der Leij, A., Zwartz, F., & Maassen, B. (2008). Differences in AERP responses and atypical hemispheric specialization in 17-month-old children at risk of dyslexia. *Brain Research*, 1, 100–105. <http://doi.org/10.1016/j.brainres.2008.01.060>
- van Leeuwen, T., Been, P., Kuijpers, C., Zwartz, F., Maassen, B., & van der Leij, A. (2006). Mismatch response is absent in 2-month-old infants at risk for dyslexia. *NeuroReport*, 17, 351–355.
- Vellutino, F. R., Fletcher, J. M., Snowling, M. J., & Scanlon, D. M. (2004). Specific reading disability (dyslexia): What have we learned in the past four decades? *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 45, 2–40. <http://doi.org/10.1046/j.0021-9630.2003.00305.x>
- Vellutino, F. R., Tunmer, W. E., Jaccard, J. J., & Chen, R. (2007). Components of reading ability: Multivariate evidence for a convergent skills model of reading development. *Scientific Studies of Reading*, 11, 3–32. <http://doi.org/10.1080/10888430709336632>
- Yabe, H., Tervaniemi, M., Reinikainen, K., & Näätänen, R. N. (1997). Temporal window of integration revealed by MMN to sound omission. *NeuroReport*, 8, 1971–1974. <http://doi.org/10.1097/00001756-199705260-00035>
- Zhao, T. C., & Kuhl, P. K. (2016). Musical intervention enhances infants' neural processing of temporal structure in music and speech. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1-6- 201603984. <http://doi.org/10.1073/pnas.1603984113>